

**TESIS CON
FALLAS DE ORIGEN**

28
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"

**INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA EN
CIMENTACIONES SUPERFICIALES**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A:

Juán Santa Cruz Chavando

MEXICO, D. F.



1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLÁN"
COORDINACIÓN DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA

CI/162/1987.

SR. IVAN SANTACRUZ CHAVANDO
Alumno de la carrera de Ingeniería
Civil.
P r e s e n t e.

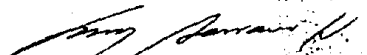
De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 18 de enero de 1985, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Interacción Suelo-Estructura en Cimentaciones Superficiales", el cual se desarrollará como sigue:

- I.- Introducción.
- II.- Descripción del Problema.
- III.- Análisis Conjunto de la Estructura y el Suelo.
- IV.- Ejemplo de Aplicación.
- V.- Comentarios.
- VI.- Análisis por Computadora.
- VII.- Ejercicios por Computadora.
 - Conclusiones.
 - Bibliografía.

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el señor M. en I. Agustín Demeneghi Colina.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo - mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A t e n t a m e n t e,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Acatlán, Edo. de Méx., a 9 de septiembre de 1987.


ING. HERMENEGILDO ARCOS SERRANO
Coordinador del Programa de
Ingeniería.

PROGRAMA DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
DIVISION DE CIENCIAS BASICAS

RELACION DE PROFESORES QUE FUNGIRAN COMO SINODALES EN EL EXAMEN PROFESIONAL QUE PRESENTARA EL ALUMNO IVAN SANTACRUZ CHAVANDO DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL Y QUE SE SERVIRAN FIRMAR DE ENTERADO.

MTRO. VICTOR JOSE PALENCIA GOMEZ
Hacienda de Xajay No. 428 Col. Hacienda de Echegaray
Naucalpan, Méx.,
Tel. 373-2399 ext. 126

MTRO. AGUSTIN DEMENEGHI COLINA
Facultad de Ingeniería UNAM.
Ciudad Universitaria.
Tel. 543 46 69

ING. CELSO BARRERA CHAVEZ
Av. Emiliano Zapata No. 157-303 Col. Portales.
México, D.F.,
Tel. 532-5560

ING. JORGE CASTAÑON FERRETIZ
Isla de Terranova No. 5 Fracc. Las Américas
Naucalpan, Méx.,
Tel. 520-5590

ING. JUAN JOSE CAMARENA HERNANDEZ
Guirnalda Lote 4, Manzana 64
Villa de las Flores, Méx.,
Tel. 533-7133 ext. 2251

I N D I C E

| | PAG. |
|-----|--|
| I | INTRODUCCION ----- 1 |
| II | DESCRIPCION DEL PROBLEMA ----- 4 |
| III | ANALISIS CONJUNTO DE LA ESTRUCTURA ----- 13 |
| | Y DEL SUELO |
| a) | Análisis estructural ----- 14 |
| b) | Análisis de asentamientos en el suelo ----- 18 |
| c) | Compatibilidad de deformaciones ----- 23 |
| IV | EJEMPLO DE APLICACION ----- 28 |
| a) | Matriz de rigidez estructural ----- 29 |
| b) | Matriz de flexibilidades del suelo ----- 37 |
| c) | Vector de cargas externas ----- 46 |
| d) | Compatibilidad de deformaciones ----- 47 |
| e) | Elementos mecánicos y diagramas ----- 50 |
| V | COMENTARIOS ----- 56 |
| VI | ANALISIS POR COMPUTADORA ----- 63 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| VII | EJERCICIOS POR COMPUTADORA: | |
| a) | Ejemplo 1: Cimentación compuesta por 34 barras | 69 |
| b) | Ejemplo 2: Cimentación simétrica de 24 barras | 109 |
| | CONCLUSIONES | 140 |
| APENDICE A: | Matriz de rigidez de la estructura | 145 |
| APENDICE B: | Variación volumétrica de los estratos | 160 |
| APENDICE C: | Distribución de esfuerzos en el suelo | 175 |
| APENDICE D: | Programa de computadora | 192 |
| | BIBLIOGRAFIA | 231 |

(1)

I

INTRODUCCION

La cimentación de estructuras sobre suelos de mediana a alta compresibilidad plantea el problema de determinar los hundimientos totales y diferenciales, así como los elementos mecánicos (momentos flexionantes, torsiones y fuerzas cortantes), en los miembros estructurales, ocasionados por las reacciones del suelo:

Estos valores dependen, por un lado de la compresibilidad del subsuelo, y por otro, de la rigidez de la cimentación.

Tomando en cuenta que en los análisis estructurales tradicionales, se considera en general que la estructura está empotrada o articulada en su cimentación, o se supone una presión de contacto uniforme del suelo, y que también en general, el cálculo de hundimientos del terreno se realiza considerando la cimentación 100% flexible o totalmente rígida, lo cual en ambos casos (estructural y de mecánica de suelos) dista bastante de la realidad; se ve clara la necesidad de desarrollar métodos de análisis estructural que tengan en cuenta los efectos de los hundimientos del terreno y que, al mismo tiempo, permitan calcular los valores de estos últimos.

El método de análisis de Interacción Suelo-Estructura que aquí se

presenta, será desarrollado para el caso de una cimentación superficial que pueda ser resuelta a base de zapatas corridas o por medio de una losa con contratrabes: es decir, para aquella cimentación cuyo contacto con el suelo sea lineal (o por unidad de longitud).

Se dejara la posibilidad de analizar la Interacción Suelo-Estructura bajo otras distribuciones de esfuerzos en el suelo (debidas, por ejemplo, a cargas puntuales o por unidad de área); sin embargo es sencillo considerarlas siguiendo las definiciones y principios que en este trabajo se exponen.

Evidentemente el comportamiento de la cimentación al tomar en cuenta la Interacción Suelo-Estructura es mucho más real del que pudiera esperarse si no se considerara. Además se puede agregar que la gran ventaja de utilizar el método de Interacción Suelo-Estructura nos lleva a que los resultados que se obtengan para el suelo, nos permitan conocer la configuración de la reacción del terreno, así como los hundimientos diferenciales que podrán esperarse a largo plazo.

Si tomamos en cuenta que uno de los problemas principales a que se enfrenta el Ingeniero Civil al analizar una estructura, es el desconocimiento de los efectos del terreno sobre aquella, queda entonces de manifiesto la utilidad de un método como el presente.

Las pretensiones de este trabajo son las siguientes:

Hacer un estudio de los elementos fundamentales que llevan al problema de la Interacción Suelo-Estructura (cap. II).

Describir un procedimiento en forma general (cap. III).

(3)

Presentar la obtención de los desplazamientos verticales del terreno en función de las reacciones del suelo y explicar la manera de incorporarlos en el análisis estructural (cap. III).

Hacer una secuencia de cálculo en el análisis conjunto mediante un ejemplo de aplicación (cap. IV).

Dar una serie de comentarios generales de los resultados obtenidos y en base a ellos realizar otros donde se hagan variar las características que definen claramente el comportamiento de la Interacción Suelo-Estructura (cap. V).

Describir un programa por computadora que realice el análisis en conjunto, explicando paso a paso la manera de ejecutarlo (cap. VI).

Para concluir este trabajo se presentaran dos ejemplos prácticos de cimentaciones analizados por computadora, cuyos resultados serán comparados con otros obtenidos al no considerar la Interacción Suelo-Estructura (cap. VII).

En la parte final del presente, se expondrán las conclusiones a que se llegaron empleando el método propuesto a diferencia de los tradicionalmente conocidos.

Se anexa en este trabajo, por un lado, el método de análisis estructural empleado (que será el de rigideces), y por otro, un estudio general para la obtención de los esfuerzos en el suelo.

De igual manera se presentan las diferentes formas de cálculo de la variación volumétrica del suelo mediante un análisis de laboratorio.

II

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En estructuras continuas, o en aquellas en que su cimentación lo sea, la respuesta del sistema estructural y el suelo se ve afectada, como ya se dijo, por la Interacción Suelo-Estructura: los asentamientos diferenciales son función de la distribución de presiones de contacto entre el terreno y el sistema estructural; dicha distribución es función, a su vez, de la configuración deformada del sistema total.

Si se tiene una estructura uniformemente cargada y totalmente flexible, su asentamiento no será uniforme, sino que tendrá un valor máximo al centro del área cargada y menor en la periferia. Considerando que el medio cargado es linealmente elástico, la deformación de la estructura será, en suelos blandos o arcillosos (fig. II-A):

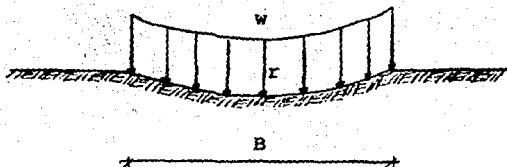


FIG. II-A
DEFORMACION DEL SUELO
BAJO CARGA UNIFORME
(ARCILLA SATURADA)

Si la estructura se apoya en arenas o gravas; debido a que los materiales gruesos tienen la propiedad de aumentar su rigidez con el confinamiento, el asentamiento de una estructura será (fig. II-B):

(5)

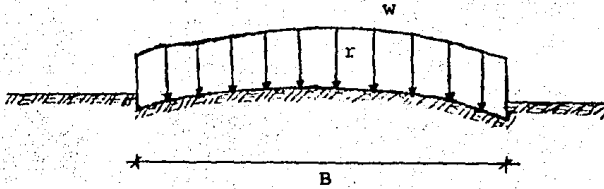


FIG II-B

DEFORMACION DEL SUELO
BAJO CARGA UNIFORME
(ARENAS)

Por otro lado, si se tiene una estructura uniformemente cargada y totalmente rígida, esta se asentará uniformemente, pero la presión de contacto del suelo no lo será:

En suelos blandos la presión del suelo será mínima al centro y máxima en las orillas. En suelos friccionantes sucede lo contrario: la presión (por confinamiento) será máxima al centro y mucho menor en la periferia (fig. II-C, II-D):

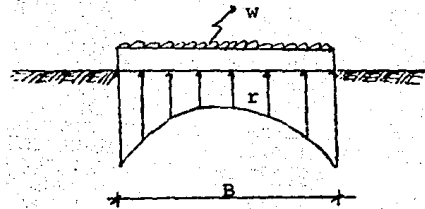


FIG. II-C : REACCION DE UN SUELO
COMPRESIBLE A UNA
CIMENTACION RIGIDA

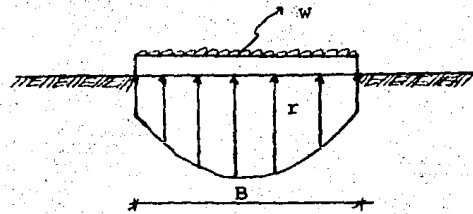


FIG. II-D : REACCION DE UN SUELO
FRICCIONANTE A UNA
CIMENTACION RIGIDA.

De lo anteriormente dicho se concluye que la relación del terreno y sus asentamientos dependen de la rigidez de la estructura y de las características de compresibilidad del suelo.

Cabe aclarar que no en todas las cimentaciones se presenta el problema de determinar la distribución de las presiones y los asentamientos; por ejemplo en suelos muy rígidos, donde los asentamientos totales y diferen-

ciales son muy pequeños y por tanto no se tomarán en cuenta en el análisis estructural.

Aunque la respuesta de una cimentación continua suele verse afectada también por otros agentes distintos a la acción de la carga externa que soporta y la distribución de presiones en el suelo (tal es el caso de variaciones piezométricas, deformaciones previas asociadas al procedimiento de excavación o influencias de construcciones vecinas); el problema se analiza en este trabajo como si dicha respuesta pudiera aislarse y superponerse.

Algunos estudios anteriores que pretenden resolver el problema de la Interacción Suelo-Estructura de una manera práctica, son los siguientes:

a) Método de Terzaghi:

El profesor Terzaghi fue de los primeros que atacó el problema de la Interacción Suelo-Estructura, desde un punto de vista práctico, cuyos resultados se comentan a continuación (fig. II-E):

Reemplazó al suelo por un sistema de resortes a igual distancia y distinto módulo elástico, cada uno de ellos independiente del otro.

Para este sistema, el módulo de reacción del suelo estará definido como:

$$K_s = P / \delta$$

donde: P = carga por unidad de área de una superficie horizontal

δ = es el correspondiente asentamiento de la superficie.

K_s = es el módulo de reacción del suelo.

(7)

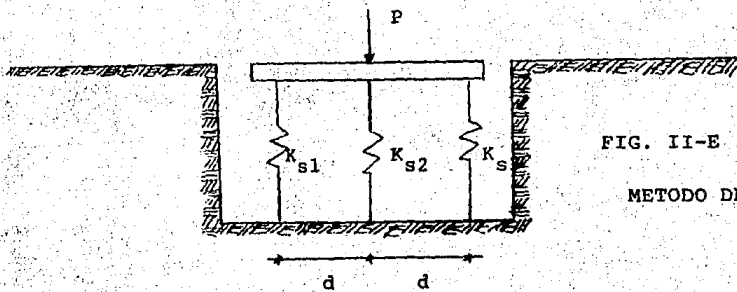
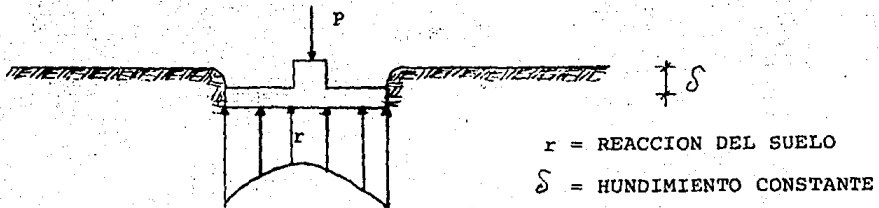


FIG. II-E :

METODO DE TERZAGHI

Este módulo de reacción se obtiene aplicando una presión uniforme sobre la superficie expuesta del suelo; se mide la deflexión a diferentes puntos de esa superficie y se divide la presión entre la deflexión en cada punto para luego obtener un promedio.

Otra forma de obtener el módulo de reacción del suelo es por medio de un cuerpo rígido (bloque de concreto), el cual se coloca en el suelo; se conoce su presión en el suelo (fuerza sobre área); se mide el desplazamiento de éste y se efectúa la división: presión entre deformación.



r = REACCION DEL SUELO

δ = HUNDIMIENTO CONSTANTE

FIG. II-F : METODO DE TERZAGHI MEDIANTE UN CUERPO RIGIDO

En ambos casos, las dimensiones del módulo de reacción del suelo (K_s) serán:

(8)

$$K_s = p / \delta \quad (\text{Kg./cm}^3)$$

El valor de K_s es función de la naturaleza del suelo y del tamaño y forma del área que soporta la carga.

No obstante, el valor de K_s no es constante para un suelo dado, ya que depende de muchos factores no determinados en el laboratorio. Por ello, K_s así obtenido es un valor teórico y algo aproximado.

b) Método de Zeevaert :

Por otra parte, el doctor L. Zeevaert (1973) considera una planta de cimentación formada por vigas cortas en una dirección y vigas largas en la otra. Las cortas tienen mayor rigidez que las largas y por ello se considera que estas toman las reacciones del suelo y las cargas de las columnas mientras que las vigas largas sólo tienen la función de transmitir el contacto de presiones entre la losa de cimentación y la reacción de las vigas cortas, y son diseñadas con la rigidez necesaria para reducir los asentamientos diferenciales de la cimentación a valores permisibles.

Por esta razón, a las vigas largas se les llama: vigas para balancear cargas; y las cortas se les llama: vigas de reacción.

Los pasos para determinar la reacción del suelo con este método son:

1) Determinar el asentamiento medio (δ'_{an}) de cada banda en la que se dividió la cimentación, en dirección de las vigas cortas, con la expresión:

$$\delta'_{an} = \sum_{n} a_n / A_n$$

donde: A_n = área total de las vigas cortas

(9)

a = área de cada viga corta.

\sum_n^n = asentamiento total de la cimentación.

\int'_{an} será la primera aproximación del asentamiento medio de cada banda, correspondiendo a la primera suposición de la reacción del terreno:

q'_{an}

2) Conocidos los \int'_{an} y la primera aproximación del módulo de reacción, puede ser calculada para cada banda:

$$K'_s = q'_{an} a_n / \int'_{an} \quad (1/n)(n)/n^2$$

3) Usar K'_s para la cimentación, y los correspondientes a las columnas cargadas para obtener un promedio y calcular los momentos, cortantes y desplazamientos verticales promedios (\int''_{an}); con los cuales se obtienen los valores corregidos de la reacción del terreno:

$$q''_{an} = (\int''_{an} K'_s) / n \quad (n)(1/n)/n^2$$

4) Para mejorar el promedio de las reacciones del terreno unitarias, q''_{an} ; se efectúa un segundo análisis de asentamientos: \int'''_{an} ; por lo que el módulo de reacción del suelo se calculará así:

$$K''_s = (q''_{an} a_n) / \int'''_{an}$$

5) Usando el valor de K''_s mejorado, se llevará a cabo un segundo

ciclo de cálculos para determinar cortantes, momentos flexionantes y reacciones del subsuelo, como previamente se describió.

El procedimiento se repite hasta que el cambio de momentos flexionantes y fuerzas cortantes se considere despreciable para fines prácticos.

c) Método de Chamecki y Flores:

Otros estudios previos sobre el problema suponen sistemas estructurales de comportamiento lineal y adoptan procedimientos iterativos para resolver el problema de la Interacción Suelo-Estructura. Es así como lo plantean Chamecki (1956) y Flores (1968).

Las iteraciones se inician aplicando una distribución supuesta de presiones al terreno y calculando los asentamientos de acuerdo con criterios convencionales de Mecánica de Suelos. Con dichos asentamientos y empleando la matriz de rigideces del sistema estructural, se determina el estado de cargas en este y una nueva distribución de las presiones de contacto. Esta reacción se vuelve a aplicar al suelo y así sucesivamente hasta que, eventualmente, los estados del sistema en dos ciclos consecutivos sean suficientemente parecidos.

De esta manera, si "P" es el vector de cargas externas actuante sobre el sistema estructural, y "R" es un vector de concentraciones equivalentes a la reacción del terreno; y además, "Fs" es la matriz de flexibilidades del suelo y "Ke" la matriz de rigideces estructural; partiendo de la igualdad de desplazamiento entre el suelo y la estructura; se deberá satisfacer que:

$$d_{\text{suelo}} = d_{\text{estructura}} \quad (1)$$

(11)

donde "d" es un vector de desplazamientos nodales.

Partiendo del método de rigideces (anexo "A"), se tiene:

$$[F_s] [R] = d_{\text{suelo}} \dots \dots \dots (2)$$

$$[K_e] [d_{\text{estructura}}] = P \dots \dots \dots (3)$$

Si por otra parte se tiene en cuenta que para un sistema local, la resolución final de la estructura esta expresada por:

$$P - R = [K_e] [d_{\text{estr.}}] \dots \dots \dots (4)$$

Se podra llegar entonces a la siguiente expresión:

$$[F_s] [P] = [F_s K_e + I] [d] \dots \dots \dots (5)$$

donde "I" es la matriz identidad.

La expresión (5) resuelve el problema de la Interacción Suelo-Estructura, ya que con ella se obtienen los desplazamientos equivalentes entre el suelo y la estructura.

De los métodos anteriores podemos decir que el problema de la Interacción Suelo-Estructura presenta dificultades en su aplicación práctica:

Del método de Chamecki y Flores, observamos que en la expresión

(5), los desplazamientos nodales equivalentes serían únicamente verticales, por ser "Fs" la matriz de flexibilidad del suelo calculada en una sola dirección. Se tendrá, entonces la restricción en el cálculo de los giros y torsiones de las barras en forma independiente a los del suelo que no se conocen; además de que este procedimiento diverge para los casos en que la rigidez del sistema estructural es alta en comparación con la del terreno (o sea, para los casos de más interés en la vida práctica); pese a que ha sido necesario desarrollar criterios de interpolación (Flores, 1968) para acelerar la convergencia.

Si hablamos, ahora, de los resultados de Terzaghi, deduciremos que sirven únicamente para una viga semirrigida cargada en su centro y apoyada en un medio elástico; lo cual dista mucho de la realidad en los edificios.

El método de Zeevaert es de un alcance mayor, pero hay necesidad de hacer iteraciones tanto para el análisis estructural, como para el cálculo de hundimientos, lo cual requiere de un gran número de operaciones y de gran experiencia práctica en las condiciones de frontera e idealización de barras largas y cortas, y en el cálculo del asentamiento medio por banda.

Se ve, entonces, la necesidad de desarrollar otras expresiones más sencillas que satisfagan las restricciones anteriores.

III

ANÁLISIS CONJUNTO DE LA ESTRUCTURA Y EL SUELO

El método de análisis que se presentará a continuación tiene fundamentos en los trabajos de investigación desarrollados por el M. en I. Agustín Demeneghi Colina, profesor de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Para tomar en cuenta la interacción Suelo-Estructura en el análisis de una cimentación es necesario considerar 3 objetivos fundamentales:

- 1) El análisis estructural
- 2) El cálculo de los desplazamientos en el suelo.
- 3) La compatibilidad de deformaciones en el suelo y la estructura.

El procedimiento de cálculo lleva a la necesidad de que se tenga conocimiento de algún método de análisis para la resolución de estructuras reticulares, por un lado; y en la determinación de los esfuerzos del suelo en función de sus propiedades físicas y mecánicas, por otro.

Para fines de los puntos anteriores se aplicara el método de las rigideces en la resolución del análisis estructural de la cimentación y en las teorías de Boussinesq para carga uniformemente distribuida en el cálculo de los esfuerzos del suelo.

Esta distribución de carga se optó debido a la consideración de que el contacto del suelo con la estructura se hace a través del sistema : losa con contrarribes.

Si éste contacto se hiciera por medio de una losa corrida como en el caso de los edificios pequeños, la distribución de carga del suelo fuese por unidad de área. De igual forma, si la cimentación consistiera en zapatas aisladas, la distribución de esfuerzos en el suelo sería puntual.

I) ANALISIS ESTRUCTURAL

La determinación de la matriz de rigideces global de la estructura (K) se puede llevar a cabo empleando alguno de los varios métodos que se conocen en ingeniería estructural. En términos generales conviene que sea un método susceptible de ser programado posteriormente en una computadora electrónica.

En este trabajo se utilizara el método de rigideces en la obtención de dicha matriz, la cual esta en función exclusiva de las propiedades de la estructura, es decir, de su E, I, G, J. Los pasos a utilizar vienen dados con detalle en el apéndice "A" que se presenta al final de este trabajo.

La matriz de rigidez estructural representa la restricción a un desplazamiento unitario en un grado de libertad del sistema, y se encuentra acoplada, por tanto, a un vector de fuerzas (que representan las cargas actuantes de la estructura); y a uno de desplazamientos (que resultara al relacionar los dos anteriores):

$$[K] [d] = [P]$$

donde:

K = matriz de rigidez estructural.

d = vector de desplazamientos de la estructura.

P = vector de cargas nodales externas.

El planteamiento general en su obtención consiste en hallar la matriz de rigideces y los cortantes y momentos de empotramiento de cada barra de la estructura, para posteriormente determinar la matriz de rigideces total en forma global mediante la suma de las matrices de cada una de las barras. En este trabajo solamente se consideraran cargas concentradas en los nudos y cargas uniformemente repartidas en las barras.

Las cargas aplicadas en las barras están constituidas, por un lado, de las solicitaciones externas producto de la bajada de cargas, del peso de la estructura, y del propio peso de las contratrabes; y por otro, por las reacciones (que son desconocidas) del suelo por efecto de las primeras.

Todas estas cargas en conjunto deberán ser expresadas como cargas equivalentes en los nudos, con objeto de que pueda ser resuelto el sistema, y posteriormente adicionar a cada barra sus respectivos momentos y cortantes de empotramiento. De esta manera se obtendrán los elementos mecánicos finales de todas las barras que forman la cimentación (fig. III-A)

(16)

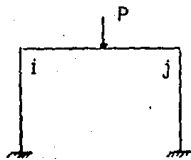
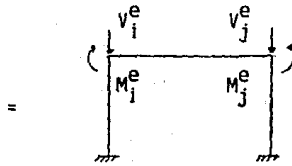
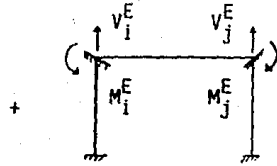


FIGURA III-A



EQUIVALENTES

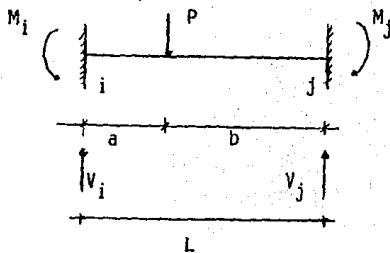


EMPOTRAMIENTO

A continuación se expresarán los cortantes y momentos de empotramiento para las condiciones de carga más usuales en este trabajo: la uniforme, la concentrada y las provocadas por la reacción del suelo, supuesta uniforme a la mitad de cada barra:

NOMENTOS Y CORTANTES DE EMPOTRAMIENTO PARA DIFERENTES CONDICIONES DE CARGA EN COORDENADAS GLOBALES

A) CARGAS EXTERNAS DE LA ESTRUCTURA



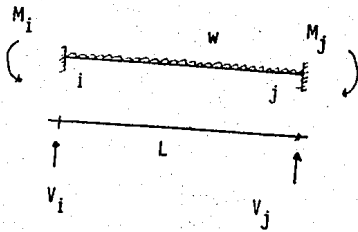
$$M_i^e = -P(a)(b)/L$$

$$M_j^e = P(b)(a)/L$$

$$V_i^e = P(b/L) (1 + 2a/L)$$

$$V_j^e = P(a/L) (1 + 2b/L)$$

(17)



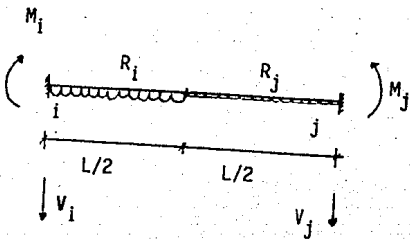
$$M_j^e = WL^2/12$$

$$V_i^e = WL/2$$

$$V_j^e = WL/2$$

$$M_i^e = -WL^2/12$$

B) CARGAS POR REACCION DEL SUELO



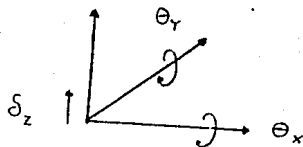
$$M_i^e = 11R L^2/192 + 5R L^2/192$$

$$M_j^e = -5R L^2/192 - 11R L^2/192$$

$$V_i^e = 13R L/32 + 3R L/32$$

$$V_j^e = 3R L/32 + 13R L/32$$

SISTEMA GLOBAL POSITIVO



De las expresiones anteriores se puede observar que no se conoce en totalidad el vector de cargas del sistema estructural, debido a que

las reacciones uniformes del suelo son incógnitas.

El objeto de la Interacción Suelo-Estructura es precisamente el de determinar dichas reacciones en función de las cargas externas y propiedades de la estructura.

Teniendo en cuenta que la matriz de rigideces estructural y el vector de cargas externas forman un sistema de ecuaciones cuya solución depende de las condiciones de frontera que forman sus nudos, y que dichas condiciones representan restricciones en los desplazamientos nodales; nos topamos con el problema de que por efecto de la Interacción Suelo-Estructura no existen tales condiciones debido a que su frontera, es decir, el suelo, es susceptible de sufrir desplazamientos.

Hablando en términos matriciales se puede decir que se tienen más incógnitas que ecuaciones en el cálculo de los desplazamientos de la estructura. Desde luego, las incógnitas son las reacciones desconocidas del suelo; y puesto que se requiere que dichas reacciones se obtengan por un lado en función de las propiedades del suelo, y por otro, de los asentamientos que estos sufren por influencia de la estructura; además de que ambos coincidan (y por tanto, ser nodales en dirección vertical); será necesario establecer, entonces, las ecuaciones faltantes de las reacciones del suelo en función a sus desplazamientos, punto que se trata a continuación:

II) ANALISIS DE ASENTAMIENTOS DEL SUELO

A continuación se obtendrán los desplazamientos verticales (δ_i) en los nudos de la estructura en función de las reacciones del terreno (R_k) y que son incógnitas (fig 111-B).

(1)

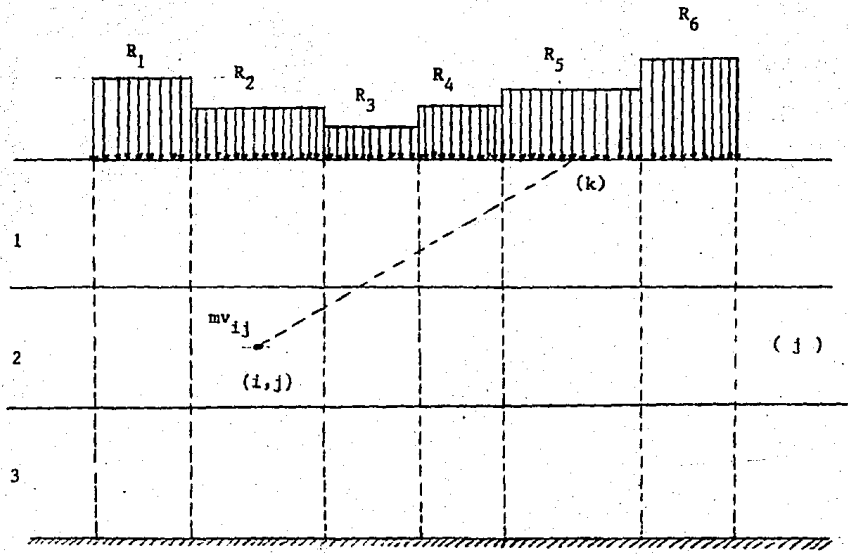


FIGURA III-B DETERMINACION DE LOS ASENTAMIENTOS DEL SUELO

El asentamiento del estrato "j" bajo el tramo "i", es decir, el asentamiento del cuadro "ij", debido a una carga R colocada en "k", valdrá (fig III-B):

$$\delta_{ijk} = m_{ij} H_j (\Delta F)_{ijk} \dots\dots\dots 1$$

en donde:

δ_{ijk} = asentamiento del cuadro ij debido a una reacción ubicada en k (R).

m_{ij} = módulo de deformación o coeficiente de variación volumétrica del cuadro ij.

H_j = espesor del estrato j del suelo.

$(\Delta F)_{ijk}$ = incremento del esfuerzo normal vertical en el cuadro ij del suelo.

Es importante en este momento hacer 2 aclaraciones:

1) Los valores del módulo de deformación del suelo (m_{ij}) dependen del esfuerzo de confinamiento el cual no se conoce a priori, por esta razón, los " m_{ij} " deberán determinarse para un nivel de esfuerzos lo más cercano posible a la realidad, dependiendo ese nivel de la experiencia del ingeniero que realiza el análisis. Si posteriormente, se ve que el nivel de presiones considerado en el primer análisis está muy alejado de la magnitud de los esfuerzos obtenidos, después de resolver todo el problema, es

probable que haya necesidad de volver a calcular los hundimientos del suelo con los valores corregidos del módulo al tomar un nuevo nivel de esfuerzos.

El procedimiento para la determinación del módulo de deformación del suelo viene dado en el apéndice "B".

2) El incremento del esfuerzo en el suelo ($\Delta \bar{V}$) está en función del tipo de contacto que tenga este con la cimentación .

Así, por ejemplo, si se tiene que el contacto es una superficie (como en el caso de una losa maciza), entonces el incremento de esfuerzo valdrá:

$$(\Delta \bar{V})_{ijk} = I_{ijk} \left(\frac{R}{b} \right)_k = l(t/m)/m = \frac{t}{m}^2$$

siendo: I_{ijk} el valor de influencia en el cuadro ij debido a una presión unitaria colocada en " k ". Este se puede valorar mediante las expresiones de Boussinesq , gráfica de Fadun, carta de Newmark, etc., y su obtención se aprecia en el apéndice "C".

En la expresión anterior el valor de " b " _{k} representa la dimensión perpendicular de la cimentación correspondiente a la reacción R_k .

Si se tiene por otro lado que el contacto del suelo con la estructura es por medio de contratrabes, entonces el incremento de esfuerzo valdrá:

$$(\Delta \bar{V})_{ijk} = I_{ijk} \left(\frac{R}{z} \right)_k = (t/m)/m = \frac{t}{m}^2$$

donde el valor de l _{ijk} correspondería a la influencia en el cuadro " ij "

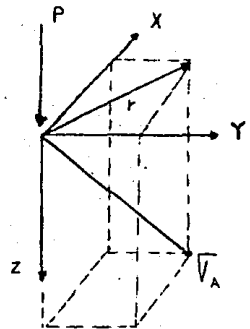
debida a una carga uniforme colocada en "k". La valuación de I_{ijk} para esta condición de carga también se aprecia en el apéndice "C", y será la condición que se tratará a lo largo de este trabajo.

Finalmente, si el contacto del suelo con la estructura se hace mediante zapatas aisladas, entonces la respuesta del suelo será puntual, y el incremento de esfuerzo del suelo valdrá:

$$(\Delta \bar{v})_{ijk} = I_{ijk} \left(\frac{P}{z} \right)^2 = I_{ijk} \left(\frac{t}{m} \right)^2 = \frac{t^2}{m^2}$$

donde el valor de I_{ijk} correspondería a la influencia en el cuadro ij - debida a una carga puntual colocada en "k". Su valor, calculado por primera vez por Boussinesq, será de:

$$I_{ijk} = \frac{3}{(2\pi)^2} \left(\frac{1}{(1 + r/z)^{5/2}} \right)$$



donde r = distancia horizontal del punto estudiado en el plano XY

z = distancia vertical del punto estudiado normal al plano

XY a partir de r .

En la figura anterior, P representa la carga concentrada actuante según la vertical, y XYZ son las coordenadas del punto en que se calculan

los esfuerzos referidas a un sistema cartesiano ortogonal cuyo origen coincide con el punto de aplicación de P.

Con las aclaraciones anteriores y empleando la ecuación 1 se pueden calcular las deformaciones verticales en los nudos de la cimentación en función lineal de las reacciones R_k . Según esta expresión, se requerirán tantas ecuaciones de desplazamientos como nudos en contacto con el suelo existan. Así, por ejemplo, en una barra uniformemente cargada (formada por 2 nudos) tendrán por un lado 2 reacciones (R_i, R_j) del suelo, distribuidas en una longitud ($L/2$) de la barra, las cuales son incógnitas; y por otro 6 condiciones de desplazamiento por esfuerzos en el suelo.

El siguiente paso consistirá, entonces, en hacer compatibles estas expresiones con la matriz de flexibilidades del suelo.

III COMPATIBILIDAD DE DEFORMACIONES

Debido a que los desplazamientos de la estructura son nodales, entonces es lógico suponer que las expresiones de los desplazamientos en el suelo también lo sean. Habrá de tener cuidado, por tanto, de dos cosas :

1) En que la forma de la distribución de esfuerzos en el suelo sea proporcional con la de los nudos estructurales. De lo contrario es posible que para las diferentes condiciones expuestas, se puedan idealizar un sinnúmero de distribuciones. A continuación se idealizarán en forma tal que puedan posteriormente ser susceptibles de programarse.

Para un área cargada de cimentación; se podría suponer que los nudos se localizan en el centro, bordes y esquinas de las reacciones del suelo, distribuidas como se muestra en la fig. III-C.

En esta figura se observa que el desplazamiento en el punto "S" está en función de γ esfuerzos reactivos del suelo, los cuales posteriormente se repartirán por áreas tributarias en las barras de dicha estructura, quedando transformados, en esta forma, los esfuerzos del suelo en reacciones uniformes que fácilmente pueden considerarse como una condición de carga externa en el análisis estructural de la cimentación.

Para el caso de contratabes, se podría suponer que los nudos se localicen en el centro de las futuras reacciones uniformes del suelo; - distribuidas como se muestra en la figura III-D.

Aquí también se observa que el desplazamiento en el punto "S" está en función de reacciones uniformes del suelo. Este será el caso tratado en este trabajo.

Una tercera condición se presenta en una cimentación a base de zapatas aisladas. Este es el caso más sencillo debido a que las reacciones concentradas del suelo coinciden con los nudos de la estructura (fig. III-E).

Y de igual forma que en las cimentaciones anteriores se observa que el desplazamiento del punto "S" está en función de γ reacciones concentradas del suelo.

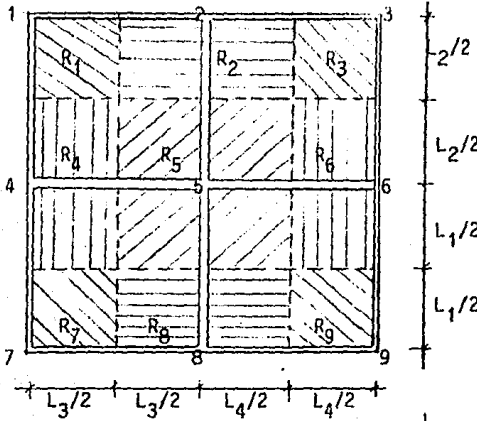


FIGURA III-C
CARGA POR UNIDAD DE
AREA EN CIMENTACION .

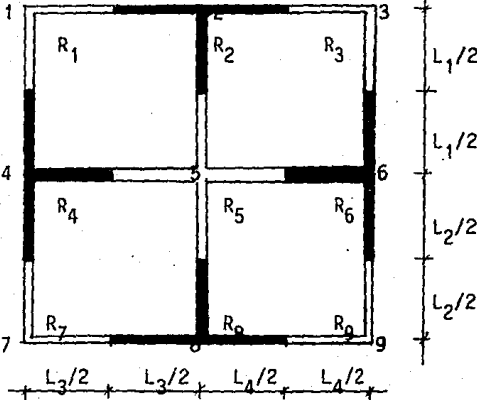


FIGURA III-D
CARGA POR UNIDAD DE
LONGITUD EN CIMENTACION.

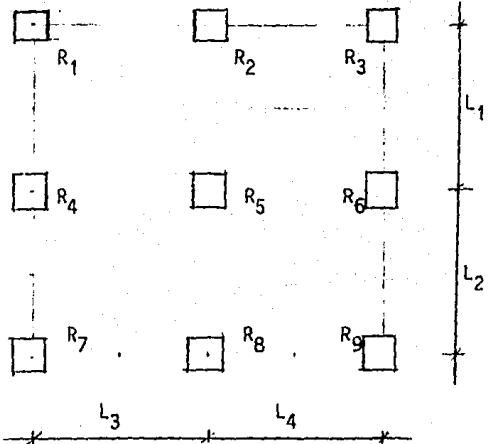


FIGURA III-E
CARGA PUNTUAL EN
CIMENTACION.

2) Cabe también aclarar que las principales sollicitaciones externas en una cimentación son las cargas verticales concentradas en las columnas (incluyendo, desde luego, los efectos cortantes y flexiones en ambos sentidos provocados por un sismo); y por tanto serán las más importantes en la distribución de las reacciones del suelo. Desde luego, también las cargas provocadas por los muros tendrán igual importancia en la cimentación, y podrán ser tomadas en cuenta como cargas uniformes en las barras de estudio (contratraves).

Después de haber hecho éstas aclaraciones continuaremos con la última fase del análisis por Interacción Suelo-Estructura correspondiente a la compatibilidad de desplazamientos:

Una vez realizado el análisis de la estructura y el de hundimientos del suelo, se establece la compatibilidad de desplazamientos entre ellos; es decir, la sustitución de los hundimientos del suelo, en las ecuaciones de los desplazamientos verticales de la estructura incluida en la matriz de rigideces. De esta manera es fácil ver que las incógnitas adicionales del sistema correspondientes a las reacciones del suelo satisfacen al número de ecuaciones, incrementado al introducir las condiciones de desplazamiento del suelo. Así, en consecuencia, se obtendrán:

- 1) Los giros de la estructura (globales)
- 2) Las torsiones de la estructura (globales)
- 3) Los desplazamientos verticales de los nudos (globales)
- 4) Las reacciones uniformes por nudo a la mitad de cada barra.

Conociendo los desplazamientos de la estructura se pueden obtener con facilidad sus elementos mecánicos (siguiendo las expresiones mostradas en el apéndice "A"); esto es, los momentos flexionantes, torsionantes y las fuerzas cortantes en cada extremo de las barras, adicionando, desde luego, fuerzas de empotramiento provocadas por la reacción del suelo.

El siguiente ejemplo mostrará la forma de analizar una cimentación superficial mediante la interacción Suelo - Estructura, siguiendo los pasos anteriormente descritos .

IV

EJEMPLO:

Con objeto de ilustrar el proceso de cálculo anterior en el análisis estructural de cimentaciones superficiales tomando en cuenta la Interacción Suelo-Estructura, se presenta el siguiente ejemplo:

EJERCICIO:

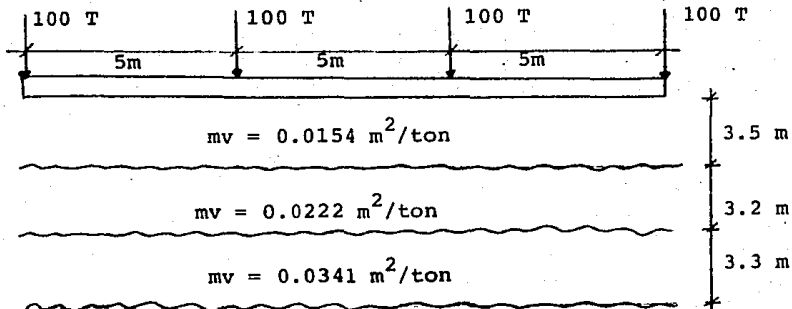
DATOS DE ANALISIS :

$E = 1581000 \text{ T/M}^2$

$I = 0.141 \text{ M}^4$

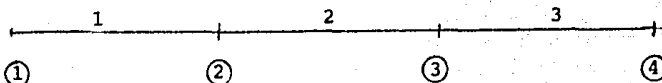
$G = 669915 \text{ T/M}^2$

$J = 0.047 \text{ M}^4$



SOLUCION:

LA FORMACION DE NUDOS Y BARRAS SERA LA SIGUIENTE:



I) MATRIZ DE RIGIDEZ ESTRUCTURAL:

SE OBTENDRA A PARTIR DE LAS EXPRESIONES QUE SE PRESENTAN EN EL APENDICE A.
PRIMERAMENTE SE DESARROLLARAN POR BARRA I

BARRA 1 - 2 :

$$k_{12} = \begin{bmatrix} -12EI/L^3 & 0 & -6EI/L^2 \\ 0 & GJ/L & 0 \\ -6EI/L^2 & 0 & -2EI/L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -21400.42 & 0 & -53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ -53501.04 & 0 & -89168.4 \end{bmatrix}$$

$$k_{11} = \begin{bmatrix} 12EI/L^3 & 0 & 6EI/L^2 \\ 0 & GJ/L & 0 \\ 6EI/L^2 & 0 & 4EI/L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 21400.42 & 0 & 53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix}$$

$$\cos \alpha = (X_1 - X_2)/L = (0 - 5)/5 = -1$$

$$\sin \alpha = (Y_1 - Y_2)/L = (0 - 0)/5 = 0$$

$$R_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad R_{21} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_{12} = k_{12}^t k_{12} R_{21} = \begin{bmatrix} -21400.42 & 0 & -53501.04 \\ 0 & -6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 89168.4 \end{bmatrix}$$

$$K_{21} = k_{21}^t k_{21} R_{12} = \begin{bmatrix} -21400.42 & 0 & 53501.04 \\ 0 & -6297.2 & 0 \\ -53501.04 & 0 & 89168.4 \end{bmatrix}$$

BARRA 2 - 3 :

$$k_{23} = \begin{bmatrix} -21400.42 & 0 & -53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ -53501.04 & 0 & -89168.4 \end{bmatrix} \quad k_{32} = \begin{bmatrix} 21400.42 & 0 & 53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix}$$

$$\cos \alpha = (X_3 - X_2)/L_{23} = (5 - 10)/5 = -1$$

$$\sin \alpha = (Y_3 - Y_2)/L_{23} = (0 - 0)/5 = 0$$

$$R_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$R_{32} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_{23} = R_{23}^t k_{23} R_{23} = \begin{bmatrix} -21400.42 & 0 & -53501.04 \\ 0 & -6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 89168.4 \end{bmatrix}$$

$$K_{32} = k_{32}^t = \begin{bmatrix} -21400.42 & 0 & 53501.04 \\ 0 & -6297.2 & 0 \\ -53501.04 & 0 & 89168.4 \end{bmatrix}$$

BARRA 3 - 4 :

$$k_{34} = k_{43} = \begin{bmatrix} -21400.42 & 0 & -53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ -53501.04 & 0 & -89168.4 \end{bmatrix}$$

$$k_{33}^4 = k_{44}^3 = \begin{bmatrix} 21400.42 & 0 & 53501.04 \\ 0 & 6297.20 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix}$$

$$\cos \alpha = (X_4 - X_3)/L_{34} = (10 - 15)/5 = -1$$

$$\sin \alpha = (Y_4 - Y_3)/L_{34} = (00 - 00)/5 = 0$$

$$R_{34} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$R_{43} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_{34} = R_{34}^t k_{34} k_{34} = \begin{bmatrix} -21400.42 & 0 & -53501.04 \\ 0 & -6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 89168.4 \end{bmatrix}$$

$$K_{43} = K_{34}^t = \begin{bmatrix} -21400.42 & 0 & 53501.04 \\ 0 & -6297.2 & 0 \\ -53501.04 & 0 & 89168.4 \end{bmatrix}$$

MATRIZ DE RIGIDEZ FINAL DE LA ESTRUCTURA:

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & 0 & 0 \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & 0 \\ 0 & K_{32} & K_{33} & K_{34} \\ 0 & 0 & K_{43} & K_{44} \end{bmatrix}$$

$$K_{11}^2 = K_{11}^2 + 0 + 0 \quad (\text{PRIMER RENGLON})$$

$$K_{11}^3 = R_{12}^t k_{11}^2 R_{12} =$$

$$K_{11}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 21400.42 & 0 & 53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 21400.42 & 0 & -53501.04 \\ 0 & 6297.20 & 0 \\ -53501.04 & 0 & 178336.80 \end{bmatrix}$$

$$K_{22} = K_{22}^1 + K_{22}^3 + 0 \quad (\text{SEGUNDO RENGLON})$$

(33)

$$K_{22}^1 = R_{21}^t k_{22}^1 P_{21} =$$

$$K_{22}^1 = \begin{bmatrix} 21400.42 & 0 & 53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix}$$

$$K_{22}^3 = R_{23}^t k_{22}^3 P_{23} =$$

$$= \begin{bmatrix} 21400.42 & 0 & -53501.04 \\ 0 & 6297.20 & 0 \\ -53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix}$$

$$K_{33} = 0 + K_{33}^2 + K_{33}^4 \quad (\text{TERCER RENGLON})$$

$$K_{33}^4 = R_{34}^t k_{33}^4 R_{34} =$$

$$K_{33}^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 21400.42 & 0 & 53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$
$$= \begin{bmatrix} 21400.42 & 0 & -53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ -53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix}$$

$$K_{33}^2 = R_{32}^1 k_{33}^2 R_{32}^2 =$$

$$= \begin{bmatrix} 21400.42 & 0 & 53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix}$$

$$K_{44}^3 = 0 + 0 + K_{44}^3 \quad (\text{CUARTO RENGLON})$$

$$K_{44}^3 = R_{43}^1 k_{44}^3 R_{45}^2 =$$

$$K_{44}^3 = \begin{bmatrix} 21400.42 & 0 & 53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix}$$

$$K_{11}^3 = \begin{bmatrix} 21400.42 & 0 & -53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ -53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix}$$

(35)

$$K_{22} = K_{22}^1 + K_{22}^3 =$$

$$K_{22} = \begin{bmatrix} 42800.84 & 0 & 0 \\ 0 & 12594.40 & 0 \\ 0 & 0 & 356673.6 \end{bmatrix}$$

$$K_{33} = K_{33}^2 + K_{33}^4 =$$

$$K_{33} = \begin{bmatrix} 42800.42 & 0 & 0 \\ 0 & 12594.40 & 0 \\ 0 & 0 & 356673.6 \end{bmatrix}$$

$$K_{44} = \begin{bmatrix} 21400.42 & 0 & 53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix}$$

PARA FORMAR LA MATRIZ DE RIGIDEZES DE TODA LA ESTRUCTURA BASTARA COLOCAR CADA ELEMENTO DE LAS MATRICES DE CADA BARRA EN EL RENGLON Y COLUMNA CORRESPONDIENTES DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ ESTRUCTURAL, COMO SE MUESTRA A CONTINUACION:

| Δ_{1z} | Θ_{1x} | Θ_{1y} | Δ_{2z} | Θ_{2x} | Θ_{2y} | Δ_{3z} | Θ_{3x} | Θ_{3y} | Δ_{4z} | Θ_{4x} | Θ_{4y} | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------|
| 21400 | 0 | -53501 | -21400 | 0 | -53501.04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | F_{1z} |
| 0 | 6297 | 0 | 0 | -6297 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | M_{1x} |
| -53501 | 0 | 178336 | 53501 | 0 | 89168.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | M_{1y} |
| -21400 | 0 | 53501 | 42800 | 0 | 0 | -21400 | 0 | -53501 | 0 | 0 | 0 | F_{2z} |
| 0 | -6297 | 0 | 0 | 12594 | 0 | 0 | -6297 | 0 | 0 | 0 | 0 | M_{2x} |
| -53501 | 0 | 89168 | 0 | 0 | 356673 | 53501 | 0 | 89168 | 0 | 0 | 0 | M_{2y} |
| 0 | 0 | 0 | -21400 | 0 | 53501 | 42800 | 0 | 0 | -21400 | 0 | -53501 | F_{3z} |
| 0 | 0 | 0 | 0 | -6297 | 0 | 0 | 12594 | 0 | 0 | -6297 | 0 | M_{3x} |
| 0 | 0 | 0 | -53501 | 0 | 89168 | 0 | 0 | 356673 | 53501 | 0 | 89168 | M_{3y} |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -21400 | 0 | 53501 | 21400 | 0 | 53501 | F_{4z} |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -6297 | 0 | 0 | 6297 | 0 | M_{4x} |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -53501 | 0 | 89168 | 53501 | 0 | 178336 | M_{4y} |

(36)

MATRIZ DE RIGIDEZ FINAL

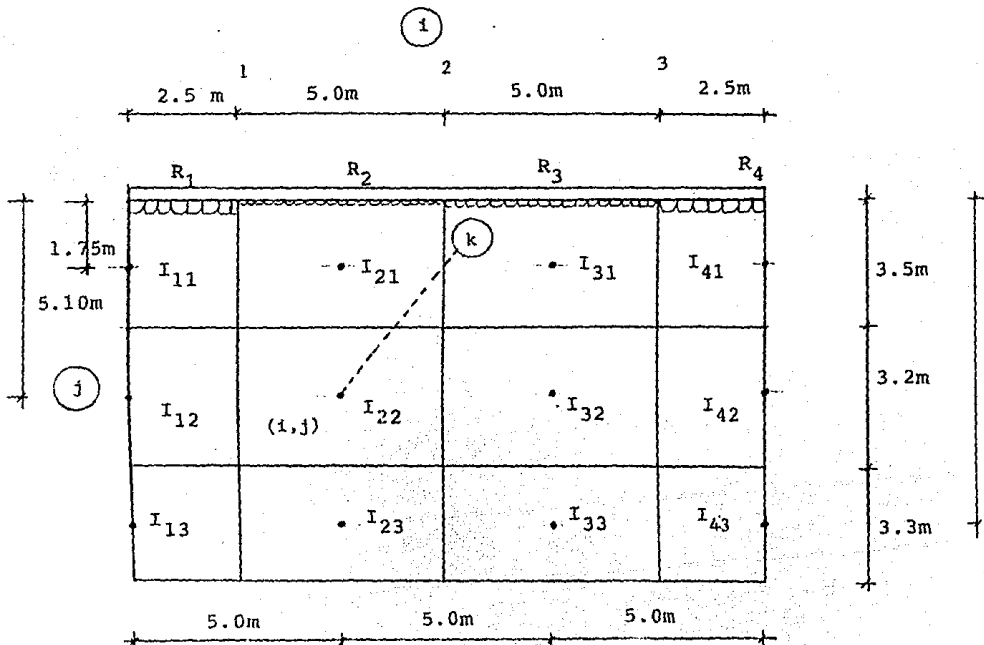
(REPRESENTACION EN COORDENADAS GLOBALES)

II) MATRIZ DE FLEXIBILIDADES DEL SUELO

SE OBTENDRA EN FUNCION A LOS VALORES DE INFLUENCIA QUE CADA BARRA TIENE POR EFECTO DE LAS CARGAS COLOCADAS A DISTANCIAS DETERMINADAS.

PARA HALLAR LOS VALORES DE INFLUENCIA SE COLOCA UNA CARGA UNIFORME UNITARIA EN LA LONGITUD 1 Y SE DETERMINAN LOS ESFUERZOS EN LOS PUNTOS DEL SUBSUELO, LUEGO SE COLOCA LA CARGA UNIFORME EN 2 Y SE OBTIENEN LOS ESFUERZOS; Y ASI SUCESIVAMENTE.

LOS ESFUERZOS DEL SUELO SE PUEDEN DETERMINAR EMPLEANDO LAS FORMULAS DE BOUSINESQ, CON LA CARTA DE NEWMARK, CON LA GRAFICA DE FADUM, ETC...



VALORES DE INFLUENCIA CORRESPONDIENTES A UNA CARGA UNITARIA
LINEAL Y UNIFORME COLOCADA EN LA SECCION 1 ($k = 1$) :

i

| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
|---|---------|---------|---------|---------|---|
| | 0.17351 | 0.00821 | 0.00016 | 0.00001 | 1 |
| J | 0.03855 | 0.02122 | 0.00214 | 0.00024 | 2 |
| | 0.01595 | 0.01657 | 0.00407 | 0.00066 | 3 |

VALORES DE INFLUENCIA CORRESPONDIENTES A UNA CARGA UNITARIA
LINEAL Y UNIFORME COLOCADA EN LA SECCION 2 ($k = 2$) :

i

| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
|---|---------|---------|---------|---------|---|
| | 0.00753 | 0.34703 | 0.00819 | 0.00012 | 1 |
| J | 0.01629 | 0.07709 | 0.02122 | 0.00157 | 2 |
| | 0.01084 | 0.03190 | 0.01657 | 0.00275 | 3 |

VALORES DE INFLUENCIA CORRESPONDIENTES A UNA CARGA UNITARIA
LINEAL Y UNIFORME COLOCADA EN LA SECCION 3 ($k = 3$) :

| | | i | | | | |
|--|---|---------|---------|---------|---------|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| | j | 0.00012 | 0.00819 | 0.34703 | 0.00753 | 1 |
| | | 0.00157 | 0.02122 | 0.07709 | 0.01629 | 2 |
| | | 0.00275 | 0.01657 | 0.03190 | 0.01084 | 3 |

VALORES DE INFLUENCIA CORRESPONDIENTES A UNA CARGA UNITARIA
LINEAL Y UNIFORME COLOCADA EN LA SECCION 4 ($k = 4$) :

| | | i | | | | |
|--|---|---------|---------|---------|---------|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| | j | 0.00001 | 0.00016 | 0.00821 | 0.17351 | 1 |
| | | 0.00024 | 0.00214 | 0.02122 | 0.03855 | 2 |
| | | 0.00066 | 0.00407 | 0.01657 | 0.01595 | 3 |

OBTENCION DE LOS HUNDIMIENTOS DEL SUELO :

$$S_i = \sum_{j=1}^3 m_{ij} H_j \left(\sum_{k=1}^4 l_{ijk} R_k \right)$$

PARA i = 1 :

$$S_1 = m_{11} H_1 [I_{111} R_1 + l_{112} R_2 + l_{113} R_3 + l_{114} R_4]$$

$$+ m_{12} H_2 [I_{121} R_1 + l_{122} R_2 + l_{123} R_3 + l_{124} R_4]$$

$$+ m_{13} H_3 [I_{131} R_1 + l_{132} R_2 + l_{133} R_3 + l_{134} R_4]$$

$$= (0.0154) (3.5) [0.17351 R_1 + 0.00821 R_2 + 0.00016 R_3 + 0.00001 R_4]$$

$$+ (0.0222) (3.2) [0.03855 R_1 + 0.02122 R_2 + 0.00214 R_3 + 0.00024 R_4]$$

$$+ (0.0341) (3.3) [0.01595 R_1 + 0.01657 R_2 + 0.00407 R_3 + 0.00066 R_4]$$

$$S_1 = 0.01389 R_1 + 0.00381 R_2 + 0.00062 R_3 + 0.00009 R_4$$

PARA i = 2 :

$$S_2 = m_{21} H_1 [I_{211} R_1 + l_{212} R_2 + l_{213} R_3 + l_{214} R_4]$$

$$+ m_{22} H_2 [I_{221} R_1 + l_{222} R_2 + l_{223} R_3 + l_{224} R_4]$$

$$+ m_{23} H_3 [I_{231} R_1 + l_{232} R_2 + l_{233} R_3 + l_{234} R_4]$$

$$\begin{aligned}
&= (0.0154) (3.5) 10.00753 R_1 + 0.34703 R_2 + 0.00819 R_3 + 0.00012 R_4 \\
&+ (0.0222) (3.2) 10.01629 R_1 + 0.07709 R_2 + 0.02122 R_3 + 0.00157 R_4 \\
&+ (0.0341) (3.3) 10.01084 R_1 + 0.03190 R_2 + 0.01650 R_3 + 0.00275 R_4
\end{aligned}$$

$$\delta_2 = 0.0028 R_1 + 0.0278 R_2 + 0.0038 R_3 + 0.0004 R_4$$

PARA i = 3 :

$$\begin{aligned}
\delta_3 &= mv H \begin{bmatrix} I & R \\ 31 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 312 & 2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 313 & 3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 314 & 4 \end{bmatrix} \\
&+ mv H \begin{bmatrix} I & R \\ 32 & 2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 321 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 322 & 2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 323 & 3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 324 & 4 \end{bmatrix} \\
&+ mv H \begin{bmatrix} I & R \\ 33 & 3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 331 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 332 & 2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 333 & 3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 334 & 4 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= (0.0154) (3.5) 10.00012 R_1 + 0.00819 R_2 + 0.34703 R_3 + 0.00753 R_4 \\
&+ (0.0222) (3.2) 10.00157 R_1 + 0.02122 R_2 + 0.07709 R_3 + 0.01629 R_4 \\
&+ (0.0341) (3.3) 10.00275 R_1 + 0.01650 R_2 + 0.03190 R_3 + 0.01084 R_4
\end{aligned}$$

$$\delta_3 = 0.0004 R_1 + 0.0038 R_2 + 0.0278 R_3 + 0.0028 R_4$$

PARA i = 4 :

$$\begin{aligned}
\delta_4 &= mv H \begin{bmatrix} I & R \\ 41 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 412 & 2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 413 & 3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 414 & 4 \end{bmatrix} \\
&+ mv H \begin{bmatrix} I & R \\ 42 & 2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 421 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 422 & 2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 423 & 3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 424 & 4 \end{bmatrix} \\
&+ mv H \begin{bmatrix} I & R \\ 43 & 3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 431 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 432 & 2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 433 & 3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & R \\ 434 & 4 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= (0.0154) (3.5) [0.00010 R_1 + 0.00016 R_2 + 0.00021 R_3 + 0.17351 R_4] \\ &+ (0.0222) (3.2) [0.00024 R_1 + 0.00214 R_2 + 0.02122 R_3 + 0.03855 R_4] \\ &+ (0.0341) (3.3) [0.00068 R_1 + 0.00407 R_2 + 0.01637 R_3 + 0.01593 R_4] \end{aligned}$$

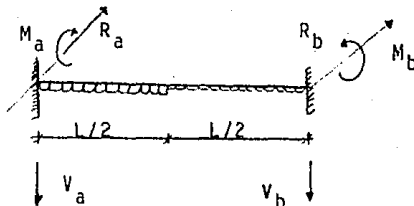
$$S_4 = 0.00009 R_1 + 0.00062 R_2 + 0.00381 R_3 + 0.01389 R_4$$

EQUACION FINAL :

$$\begin{aligned}
 \delta_1 &= 0.01389 R_1 + 0.00381 R_2 + 0.00062 R_3 + 0.00009 R_4 \\
 \delta_2 &= 0.00280 R_1 + 0.02780 R_2 + 0.00380 R_3 + 0.00040 R_4 \\
 \delta_3 &= 0.00040 R_1 + 0.00380 R_2 + 0.02780 R_3 + 0.00280 R_4 \\
 \delta_4 &= 0.00009 R_1 + 0.00062 R_2 + 0.00381 R_3 + 0.01389 R_4
 \end{aligned}$$

EN FORMA MATRICIAL :

| | R 1 | R 2 | R 3 | R 4 | | |
|---------|--------|---------|--------|---------|---------|------------|
| 0.01389 | | 0.00381 | | 0.00062 | 0.00009 | δ_1 |
| 0.00280 | | 0.02780 | | 0.00380 | 0.00040 | δ_2 |
| 0.00040 | | 0.00380 | | 0.02780 | 0.00280 | δ_3 |
| 0.00009 | | 0.00062 | | 0.00381 | 0.01389 | δ_4 |



III) CALCULO DE MOMENTOS Y CORTANTES DE EMPOTRAMIENTO
DEBIDOS A LAS REACCIONES DEL SUELO :

$$\begin{aligned} M_A^E &= 11R \frac{L^2}{192} + 5R \frac{L^2}{192} & M_B^E &= -5R \frac{L^2}{192} - 11R \frac{L^2}{192} \\ V_A^E &= -13R \frac{L}{32} - 3R \frac{L}{32} & V_B^E &= -13R \frac{L}{32} - 3R \frac{L}{32} \end{aligned}$$

BARRA 1 :

$$\begin{aligned} M_{12}^E &= 11R \frac{(5)^2}{192} + 5R \frac{(5)^2}{192} = 1.4323 R_1 + 0.651 R_2 \\ M_{21}^E &= -5R \frac{(5)^2}{192} - 11R \frac{(5)^2}{192} = -0.651 R_1 - 1.4323 R_2 \\ V_{12}^E &= -13R \frac{(5)}{32} - 3R \frac{(5)}{32} = -2.0313 R_1 - 0.4688 R_2 \\ V_{21}^E &= -3R \frac{(5)}{32} - 13R \frac{(5)}{32} = -0.4688 R_1 - 2.0313 R_2 \end{aligned}$$

BARRA 2 :

$$\begin{aligned} M_{23}^E &= 11R \frac{(5)^2}{192} + 5R \frac{(5)^2}{192} = 1.4323 R_2 + 0.651 R_3 \\ M_{32}^E &= -5R \frac{(5)^2}{192} - 11R \frac{(5)^2}{192} = -0.651 R_2 - 1.4323 R_3 \end{aligned}$$

$$U_{23}^E = -13R \frac{(5)}{2} / 32 - 3R \frac{(5)}{3} / 32 = -2.0313 R_2 - 0.4688 R_3$$

$$U_{32}^E = -3R \frac{(5)}{2} / 32 - 13R \frac{(5)}{3} / 32 = -0.4688 R_2 - 2.0313 R_3$$

BARRA 3 :

$$M_{34}^E = 11R \frac{(5)}{3} / 192 + 5R \frac{(5)}{4} / 192 = 1.4323 R_3 + 0.651 R_4$$

$$M_{43}^E = -5R \frac{(5)}{3} / 192 - 11R \frac{(5)}{4} / 192 = -0.651 R_3 - 1.4323 R_4$$

$$U_{34}^E = -13R \frac{(5)}{3} / 32 - 3R \frac{(5)}{4} / 32 = -2.0313 R_3 - 0.4688 R_4$$

$$U_{43}^E = -3R \frac{(5)}{3} / 32 - 13R \frac{(5)}{4} / 32 = -0.4688 R_3 - 2.0313 R_4$$

CALCULO DEL VECTOR DE CARGAS EXTERNAS

NUDO 1 :

$$F_{1z} = -2.0313 R_1 - 0.4688 R_2 - 100$$

$$M_{1Y} = 1.4323 R_1 + 0.651 R_2$$

NUDO 2 :

$$F_{2z} = -0.4688 R_1 - 4.0626 R_2 - 0.4688 R_3 - 100$$

$$M_{2y} = -0.651 R_1 + 0.651 R_3$$

NUDO 3 :

$$F_{3z} = -0.4688 R_3 - 4.0626 R_3 - 0.4688 R_4 - 100$$

$$M_{3y} = -0.651 R_2 + 0.651 R_4$$

NUDO 4 :

$$F_{4z} = -0.4688 R_3 - 2.0313 R_4 - 100$$

$$M_{4y} = -0.651 R_3 - 1.4323 R_4$$

III) COMPATIBILIDAD DE DEFORMACIONES

INTRODUCIENDO LA MATRIZ DE RIGIDEZ FINAL DE LA ESTRUCTURA , EL VECTOR DE FUERZAS EXTERNAS (YA CALCULADO) Y LA MATRIZ DE FLEXIBILIDADES DEL SUELO (TAMBIEN CALCULADO), SE TENDRA LA SIGUIENTE ECUACION MATRICIAL SUELO-ESTRUCTURA :

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------|---------|---------|---------|---|
| 21400 | 0 | -53501 | -21400 | 0 | -53501.04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.0313 | 0.4688 | 0 | 0 | $\begin{bmatrix} \Delta_{1z} \\ \Theta_{1x} \\ \Theta_{1y} \\ \Delta_{2z} \\ \Theta_{2x} \\ \Theta_{2y} \\ \Delta_{3z} \\ \Theta_{3x} \\ \Theta_{3y} \\ \Delta_{4z} \\ \Theta_{4x} \\ \Theta_{4y} \\ R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -100.00 \\ 0 \\ 0 \\ -100.00 \\ 0 \\ 0 \\ -100.00 \\ 0 \\ 0 \\ -100.00 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ |
| 0 | 6297 | 0 | 0 | -6297 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| -53501 | 0 | 178336 | 53501 | 0 | 89168.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1.4323 | -0.651 | 0 | 0 | 0 | |
| -21400 | 0 | 53501 | 42800 | 0 | 0 | -21400 | 0 | -53501 | 0 | 0 | 0 | 0.4688 | 4.0626 | 0.4688 | 0 | |
| 0 | -6297 | 0 | 0 | 12594 | 0 | 0 | -6297 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| -53501 | 0 | 89168 | 0 | 0 | 356673 | 53501 | 0 | 89108 | 0 | 0 | 0 | 0.651 | 0 | -0.651 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | -21400 | 0 | 53501 | 42800 | 0 | 0 | -21400 | 0 | -53501 | 0 | 0.4688 | 4.0626 | 0.4688 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | -6297 | 0 | 0 | 12594 | 0 | 0 | -6297 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | -53501 | 0 | 89168 | 0 | 0 | 356673 | 53501 | 0 | 89168 | 0 | 0.651 | 0 | -0.651 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -21400 | 0 | 53501 | 21400 | 0 | 53501 | 0 | 0 | 0.4688 | 2.0313 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -6297 | 0 | 0 | 6297 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -53501 | 0 | 89168 | 53501 | 0 | 178336 | 0 | 0 | 0.651 | 1.4123 | |
| -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.01389 | 0.00381 | 0.00062 | 0.00009 | |
| 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0028 | 0.0278 | 0.0038 | 0.0004 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0004 | 0.0038 | 0.0278 | 0.0028 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0.00009 | 0.00062 | 0.00381 | 0.01389 | |
| Δ_{1z} | Θ_{1x} | Θ_{1y} | Δ_{2z} | Θ_{2x} | Θ_{2y} | Δ_{3z} | Θ_{3x} | Θ_{3y} | Δ_{4z} | Θ_{4x} | Θ_{4y} | R_1 | R_2 | R_3 | R_4 | |

ECUACION MATRICIAL SUELO-ESTRUCTURA

(REPRESENTACION EN COORDENADAS GLOBALES)

EL SISTEMA DE ECUACIONES ANTERIOR SE RESOLVIO CON AYUDA DE UNA COMPUTADORA ELECTRONICA.

LOS RESULTADOS OBTENIDOS FUERON LOS SIGUIENTES:

| | | | | |
|--------------|-----------|-----|---|-------------------------|
| $\Delta_z =$ | -0.7058 | mts | } | DESPLAZ. NUDO 1 |
| $\Theta_x =$ | 0.0000 | rad | | |
| $\Theta_y =$ | -0.002413 | rad | | |
| $\Delta_z =$ | -0.6980 | mts | } | DESPLAZ. NUDO 2 |
| $\Theta_x =$ | -0.000 | rad | | |
| $\Theta_y =$ | -0.00068 | rad | | |
| $\Delta_z =$ | -0.6980 | mts | } | DESPLAZ. NUDO 3 |
| $\Theta_x =$ | 0.0000 | rad | | |
| $\Theta_y =$ | 0.00068 | rad | | |
| $\Delta_z =$ | -0.7058 | mts | } | DESPLAZ. NUDO 4 |
| $\Theta_x =$ | 0.0000 | rad | | |
| $\Theta_y =$ | 0.002413 | rad | | |
| $R_1 =$ | 44.9346 | t/m | } | REACCIONES DEL SUELO |
| $R_2 =$ | 17.5326 | t/m | | |
| $R_3 =$ | 17.5326 | t/m | | |
| $R_4 =$ | 44.9347 | t/m | | |

EVALUACION DE LOS ELEMENTOS MECANICOS POR BARRA EN COORDENADAS LOCALES

BARRA 1 - 2 :

$$p_{12} = k_{11}^2 R_{12} (\text{desp } 1) + k_{12} R_{21} (\text{desp } 2) + F_{12}^E \text{ suelo}$$

$$\begin{matrix} F_z \\ M_x \\ M_y \end{matrix} = \begin{bmatrix} 21400.40 & 0 & 53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.7058 \\ 0.0000 \\ -0.002413 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} -21400.42 & 0 & -53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ -53501.04 & 0 & -89168.40 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.6980 \\ 0.0000 \\ -0.00068 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} -2.0313(44.935) - 0.4688(17.533) \\ 0 \\ 1.4323(44.935) + 0.651(17.533) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -100.002 \\ 0.000 \\ -0.005 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{CORTANTE} \\ \text{TORSION} \\ \text{FLEXION} \end{matrix}$$

BARRA 2 - 1 :

$$p_{21} = k_{22}^1 R_{21} (\text{desp } 2) + k_{21} R_{12} (\text{desp } 1) + F_{21}^E \text{ suelo}$$

$$\begin{matrix} F_z \\ M_x \\ M_y \end{matrix} = \begin{bmatrix} 21400.40 & 0 & 53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.6980 \\ 0.0000 \\ -0.000680 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} -21400.42 & 0 & -53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ -53501.04 & 0 & -89168.40 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.7058 \\ 0.0000 \\ -0.002413 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} -0.4668844(346) - 2.0313(17.533) \\ 0 \\ -0.651(44.935) - 1.4323(17.533) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -56.1660 \\ 0.000 \\ 23.951 \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{CORTANTE} \\ \text{TORSION} \\ \text{FLEXION} \end{array}$$

BARRA 2 - 3 :

$$p_{23} = k_{22}^3 R_{23} \text{ (desp. 2)} + k_{23} R_{32} \text{ (desp. 3)} + F_{23}^E \text{ suelo}$$

$$\begin{matrix} F_z \\ M_x \\ M_y \end{matrix} = \begin{bmatrix} 21400.40 & 0 & 53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.6980 \\ 0.0000 \\ -0.000633 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} -21400.42 & 0 & -53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ -53501.04 & 0 & -89168.40 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.6980 \\ 0.0000 \\ 0.00068 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} -2.0313(17.533) - 0.4668(17.533) \\ 0 \\ 1.4323(17.533) + 0.651(17.533) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -43.8290 \\ 0.000 \\ 23.935 \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{CORTANTE} \\ \text{TORSION} \\ \text{FLEXION} \end{array}$$

BARRA 3 - 2 :

$$p_{32} = k_{33}^2 R_{32} \text{ (desp 3)} + k_{32} R_{23} \text{ (desp 2)} + F_{32}^E \text{ suelo}$$

$$\begin{matrix} F_z \\ M_x \\ M_y \end{matrix} = \begin{bmatrix} 21400.40 & 0 & 53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.6980 \\ 0.0000 \\ 0.000680 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} -21400.42 & 0 & -53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ -53501.04 & 0 & -89168.40 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.6980 \\ 0.0000 \\ -0.00068 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} -0.4688(17.5326) - 2.0313(17.533) \\ 0 \\ -0.651(17.533) - 1.4323(17.533) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -43.8340 \\ 0.000 \\ 23.942 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{CORTANTE} \\ \text{TORSION} \\ \text{FLEXION} \end{matrix}$$

BARRA 3 - 4 :

$$p_{34} = k_{33}^4 R_{34} \text{ (desp 3)} + k_{34} R_{43} \text{ (desp 4)} + F_{34}^E \text{ suelo}$$

$$\begin{matrix} F_z \\ M_x \\ M_y \end{matrix} = \begin{bmatrix} 21400.40 & 0 & 53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.6980 \\ 0.0000 \\ 0.00068 \end{bmatrix}$$

(53)

$$+ \begin{bmatrix} -21400.42 & 0 & -53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ -53501.04 & 0 & -89168.40 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.7058 \\ 0.0000 \\ 0.02413 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} -2.0313(17.533) - 0.4688(44.9347) \\ 0 \\ 1.4323(17.533) + 0.651(44.9347) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -56.1690 \\ 0.000 \\ 23.947 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{CORTANTE} \\ \text{TORSION} \\ \text{FLEXION} \end{matrix}$$

BARRA 4 - 3 :

$$p_{43} = \begin{matrix} 3 \\ k_{44} \end{matrix} R_{43} \text{ (desp 4)} + \begin{matrix} k_{43} \\ R_{434} \end{matrix} \text{ (desp 3)} + \begin{matrix} E \\ F_{43} \end{matrix} \text{ suelo}$$

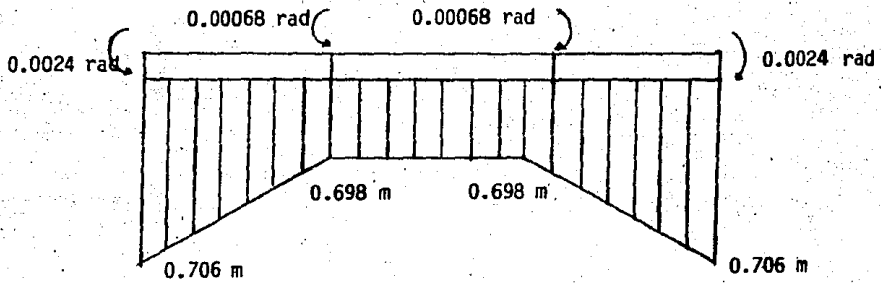
$$\begin{matrix} F_z \\ M_x \\ M_y \end{matrix} = \begin{bmatrix} 21400.40 & 0 & 53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ 53501.04 & 0 & 178336.8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.7058 \\ 0.0000 \\ 0.02413 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} -21400.42 & 0 & -53501.04 \\ 0 & 6297.2 & 0 \\ -53501.04 & 0 & -89168.40 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.6980 \\ 0.0000 \\ 0.00068 \end{bmatrix}$$

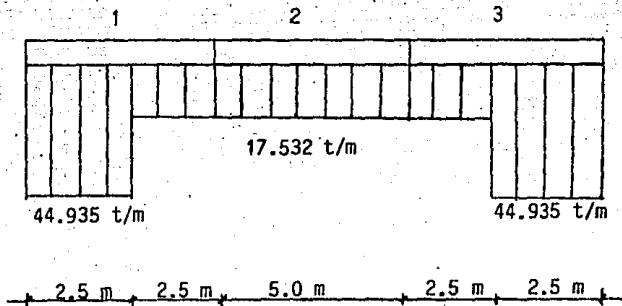
$$+ \begin{bmatrix} -0.4688(17.533) - 2.0313(44.9347) \\ 0 \\ 0.6510(17.533) + 1.4323(44.9347) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -99.9990 \\ 0.000 \\ 0.0020 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{CORTANTE} \\ \text{TORSION} \\ \text{FLEXION} \end{matrix}$$

SOLUCION GRAFICA ESTRUCTURAL

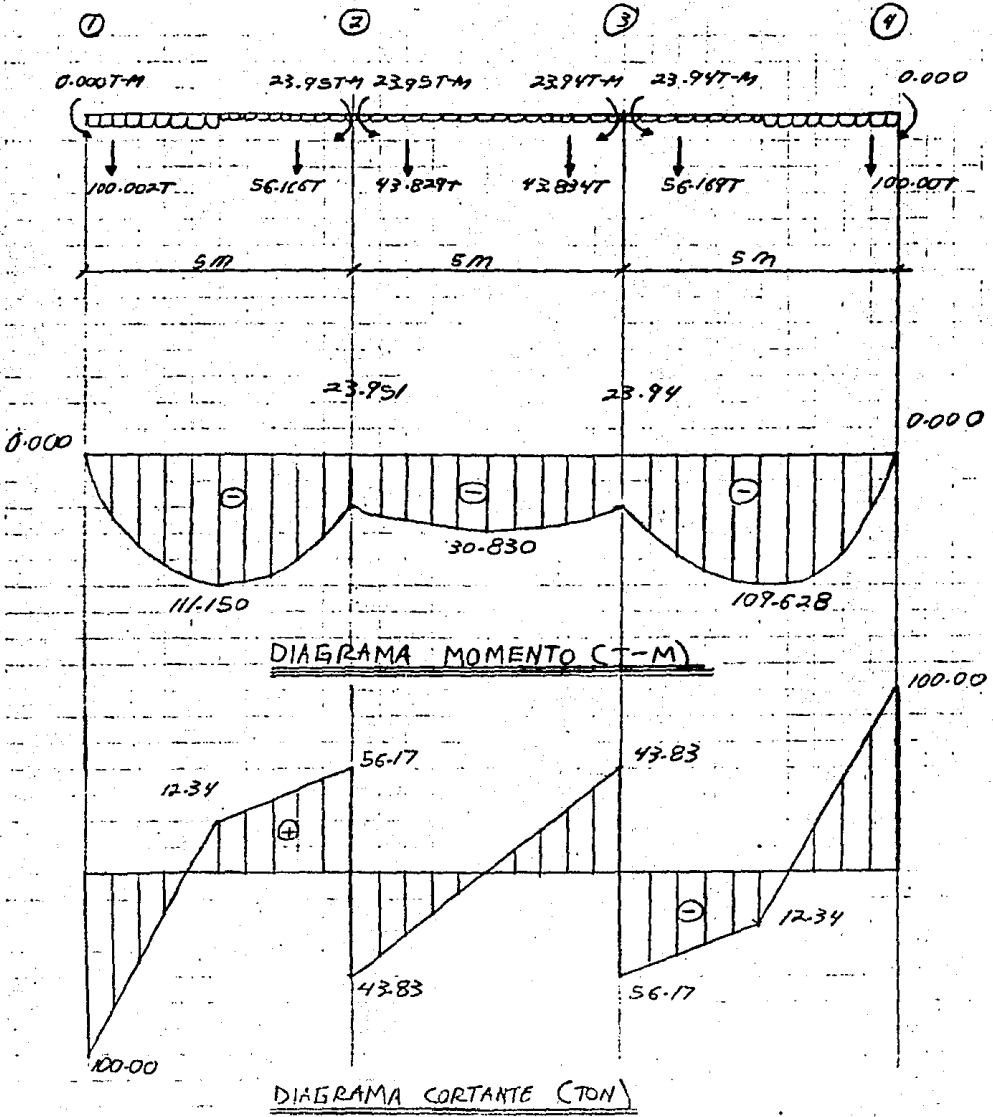
a) DESPLAZAMIENTOS VERTICALES



b) REACCIONES DEL SUELO



ELEMENTOS MECANICOS LOCALES DE LA
BARRA EN ESTUDIO (FUERA DE ESCALA)



COMENTARIOS

En el ejemplo, expuesto anteriormente se puede observar con claridad la influencia del suelo en la cimentación:

Es apreciable, por un lado, la variación en la magnitud de la reacción que ejerce el suelo: máxima en los extremos y mínima al centro; por otro, la presencia de hundimientos diferenciales y totales en los nudos de la estructura cuya magnitud varía en forma proporcional a la de las cargas externas.

Los dos parámetros anteriores: las reacciones del suelo y los hundimientos de la estructura, son imprescindibles en los cálculos necesarios para la obtención de los elementos mecánicos en todas las barras que forman la cimentación, cuyos valores difieren, en consecuencia de los obtenidos, si no se tomara en cuenta la Interacción Suelo-Estructura, siendo los primeros, por lo general menores a los esfuerzos máximos obtenidos al centro de la estructura por los segundos.

Para observar con mayor claridad el comportamiento de la Interacción Suelo-Estructura se expondrá a continuación el ejemplo teórico de una cimentación compuesta por 5 contratrabes de longitud variable y cargas nodales concentradas de 100 toneladas.

A manera de observar su comportamiento mecánico, se tomaron diversas propiedades que definen al suelo y la estructura; esto es, por parte del suelo, su coeficiente de variación volumétrica; y por parte de la

estructura, su módulo de elasticidad y de cortante, así como su inercia flexión y torsión.

Observese la variación de los asentamientos absolutos de la estructura cuando se consideran diferentes propiedades en el suelo. Tal es el caso 1, 2 Y 3.

También se aprecia que la variación de la reacción del suelo no es notoria cuando se hacen variar sus propiedades.

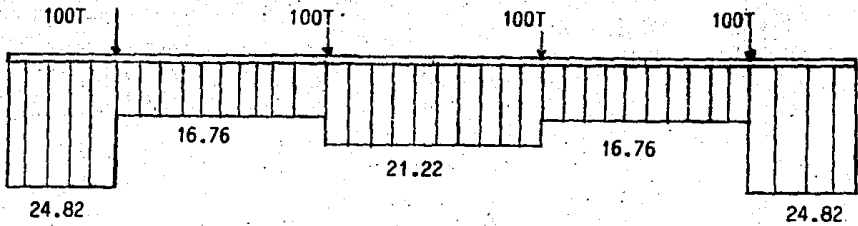
Asimismo se puede comprobar que la variación de las propiedades elásticas de la estructura son función, por un lado, de los asentamientos nodales relativos, y por otro, de los elementos mecánicos (caso 4 y 5).

Cabe aclarar que en todos los casos existe, por parte de las sollicitaciones externas, una misma presión de contacto con el suelo, igual a 20 ton/m^2 .

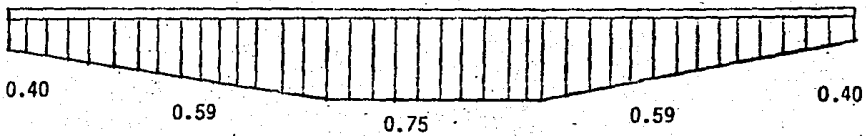
CASO 1 SUELO NORMAL Y ESTRUCTURA NORMAL

DATOS: $E=1581000 \text{ t/m}^2$ $I=0.001541 \text{ m}^4$ $G=1581000 \text{ t/m}^2$ $J=0.001541 \text{ m}^4$
 $mv_1=0.0154 \text{ m}^2/\text{t}$ $mv_2=0.0222 \text{ m}^2/\text{t}$ $mv_3=0.0341 \text{ m}^2/\text{t}$
 $H_1 = 3.5 \text{ m}$ $H_2 = 3.2 \text{ m}$ $H_3 = 3.3 \text{ m}$

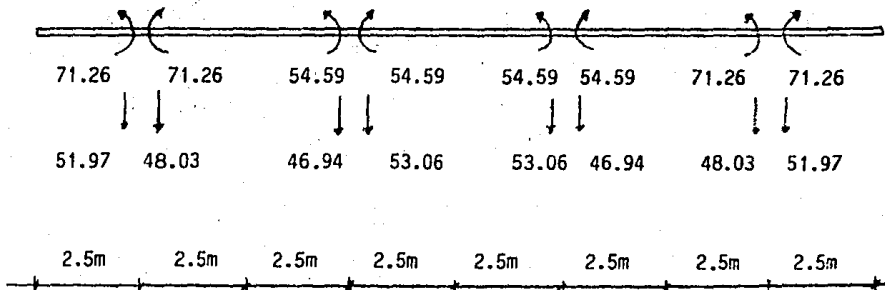
REACCIONES DE SUELO (t/m)



HUNDIMIENTOS DE LA ESTRUCTURA (m)



ELEMENTOS MECANICOS (t-m , t)

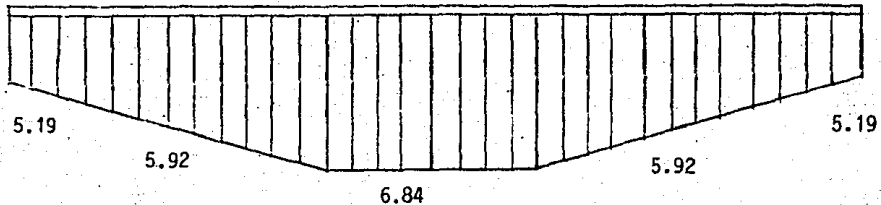
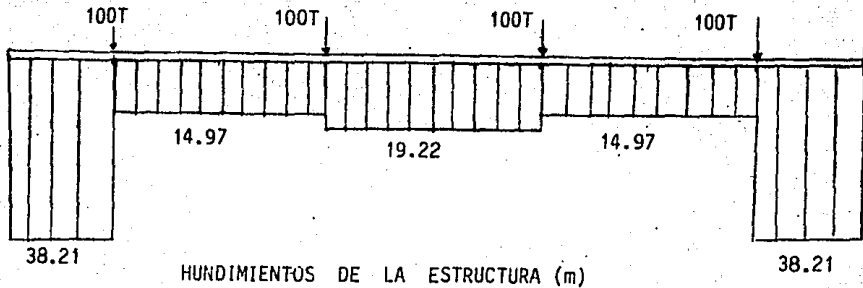


CASO 2

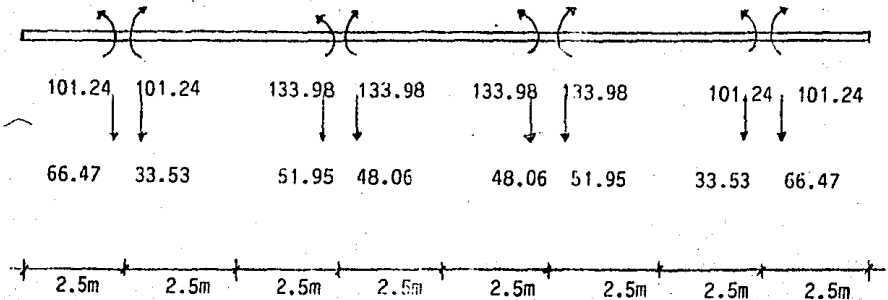
SUELO COMPRESIBLE Y ESTRUCTURA NORMAL

DATOS: $E=1581000 \text{ t/m}^2$ $I=0.001541 \text{ m}^4$ $G=1581000 \text{ t/m}^2$ $J=0.001541 \text{ m}^4$
 $mv_1=0.154 \text{ m}^2/\text{t}$ $mv_2 = 0.222 \text{ m}^2/\text{t}$ $mv_3= 0.341 \text{ m}^2/\text{t}$
 $H_1 = 3.5 \text{ m}$ $H_2 = 3.2 \text{ m}$ $H_3 = 3.3 \text{ m}$

REACCIONES DEL SUELO (t/m)



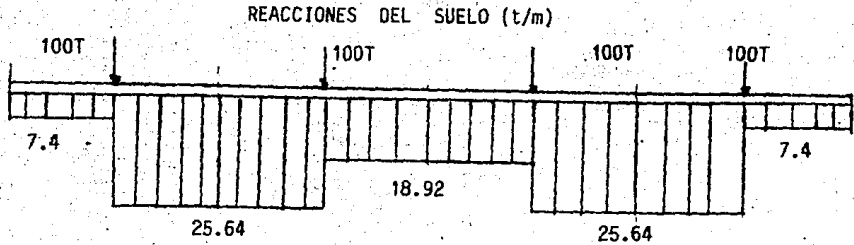
ELEMENTOS MECANICOS (t-m, t)



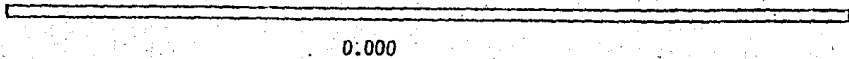
CASO 3

SUELO RIGIDO Y ESTRUCTURA NORMAL

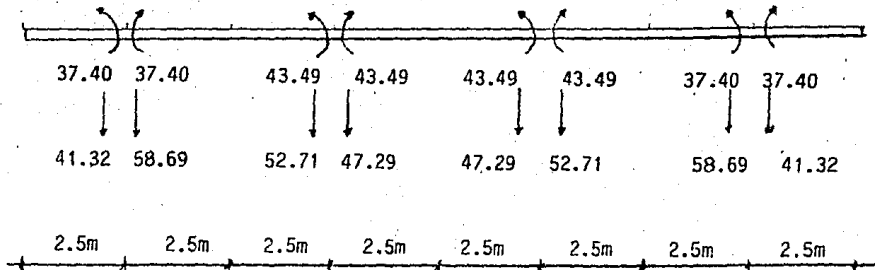
DATOS: $E=1581000 \text{ t/m}^2$ $I=0.001541 \text{ m}^4$ $G=1581000 \text{ t/m}^2$ $J=0.001541 \text{ m}^4$
 $mv_1 = 0.00000154 \text{ m}^2/\text{t}$ $mv_2 = 0.00000222 \text{ m}^2/\text{t}$ $mv_3 = 0.00000341 \text{ m}^2/\text{t}$
 $H_1 = 3.5 \text{ m}$ $H_2 = 3.2 \text{ m}$ $H_3 = 3.3 \text{ m}$



HUNDIMIENTOS DE LA ESTRUCTURA (m)



ELEMENTOS MECANICOS (t-m, m)



CASO 5

SUELO NORMAL Y ESTRUCTURA RIGIDA

DATOS:

$$E=2000000 \text{ t/m}^2 \quad I=5.00 \text{ m}^4 \quad G=2000000 \text{ t/m}^2 \quad J=5.00 \text{ m}^4$$

$$mv_1 = 0.0154 \text{ m}^2/\text{t}$$

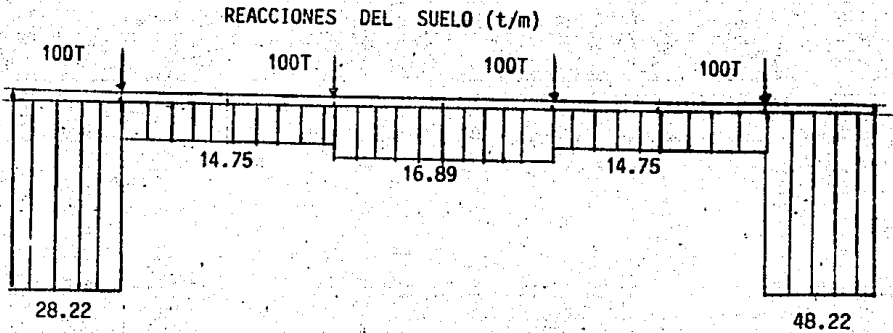
$$mv_2 = 0.0222 \text{ m}^2/\text{t}$$

$$mv_3 = 0.0341 \text{ m}^2/\text{t}$$

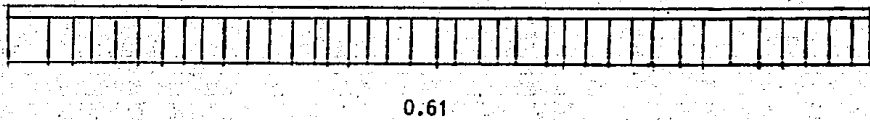
$$H_1 = 3.5 \text{ m}$$

$$H_2 = 3.2 \text{ m}$$

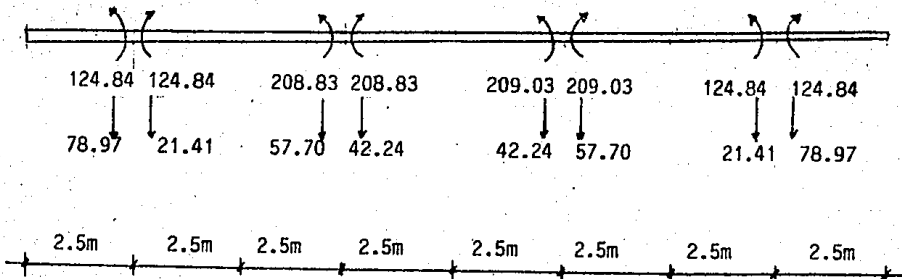
$$H_3 = 3.3 \text{ m}$$



HUNDIMIENTOS DE LA ESTRUCTURA (m)



ELEMENTOS MECANICOS (t-m , m)



VI

ANÁLISIS POR COMPUTADORA

El problema de la Interacción Suelo-Estructura radica principalmente en que su procesamiento es de carácter iterativo, y por tanto requiere de muchas horas de ejecución que hace prácticamente imposible resolverlo a mano.

En términos generales la resolución del problema consiste en 4 fases que son las siguientes :

- 1) El cálculo de la matriz de rigideces de la estructura en función de las propiedades mecánicas de cada barra que la forma.
- 2) La formación de la matriz de flexibilidades de los estratos que forman el suelo.
- 3) La comparabilidad de desplazamientos y cargas en los nudos de la estructura con los hundimientos y reacciones del suelo.
- 4) El cálculo de los elementos mecánicos de cada barra que forma la estructura.

Lo más complejo del problema se presenta en la obtención de la compatibilidad de los desplazamientos nodales (fase 3) de la estructura y reacciones del suelo, ya que su solución requiere de un gran número de iteraciones cuya convergencia está en función de la discrepancia de rigideces del suelo y la estructura. El problema se hace aún más difícil tomando en cuenta que el número de nudos de la estructura depende de las dimensiones de esta, la cual es generalmente grande, hablando de la vida práctica.

Si se piensa, por ejemplo en resolver mediante la Interacción Suelo-Es-

estructura, una cimentación compuesta por 6 contra trabes ortogonales (figura VI-A), que representaría a un pequeño edificio de 2 claros, se tendría por analizar un total de 39 condiciones de desplazamiento y reacciones, distribuidos en la siguiente forma:

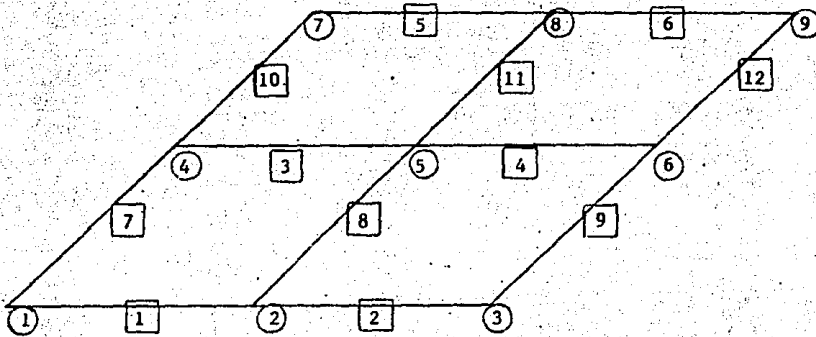


FIGURA VI-A: NUMERACION DE BARRAS Y NUDOS DE UNA CIMENTACION

Como cada nudo tiene 3 condiciones de desplazamiento, se tiene: $9 \times 3 = 27$. Además, como existen 9 nudos y cada una de ellas con una condición de reacción, se tiene entonces: $27 + 9 = 36$ condiciones.

Si no se piensa en un método iterativo de resolución, entonces se tendría a resolver 36 ecuaciones con 36 incógnitas; lo cual, hacerlo a mano resulta prácticamente imposible.

El problema se facilita si se tiene una computadora electrónica con la memoria suficiente para almacenar y resolver sistemas de ecuaciones de magnitudes superiores.

A continuación se presenta un sistema de resolución de parrillas, tomando en cuenta la Interacción Suelo-Estructura, cuya realización corrió a cargo del autor de este trabajo. Las características principales son - las siguientes:

1) El sistema lleva el nombre : ISEB7 (Interacción Suelo-Estructura, - versión 1987).

2) Está compilado y procesado en el lenguaje de programación llamado: "Fortran 77", el cual es una modificación al "Fortran 4"

3) Requiere un archivo de datos de entrada, que posteriormente se -- mencionará.

4) El sistema está constituido por 12 programas fuente independientes e interconectados en una red llamada: "TRANSFER". Cada uno de ellos requiere de uno o varios archivos de entrada y crea a su vez nuevos archivos de salida. La causa de elegir un sistema de resolución y no un programa, radica principalmente en que de esta manera se está dividiendo a un programa (que requiere de una inmensa capacidad de memoria), en varios programas pequeños (con una unidad de memoria mínima). Esto tiene las siguientes ventajas:

- a) Ahorro considerable de memoria.
- b) Menor tiempo de procesamiento.
- c) Creación de fases de procesamiento y resultados.

El punto C significa que no necesariamente el sistema se alimenta con el archivo de entrada: si se tiene distinta condición de carga por analizar en un problema, esta se puede anexar en uno de los programas del sistema y ejecutarlo a partir de ese programa sin necesidad de correr el sistema desde el inicio. Lo mismo sucede si se cuenta con la matriz de

rigideces de la estructura, o la de flexibilidad del suelo; o bien, si se cuenta con distintas propiedades de sus estratos

A continuación se presenta en forma gráfica el sistema "ISEBV", con todos sus componentes y la red de comunicación entre estos, incluyendo sus archivos de entrada y salida.

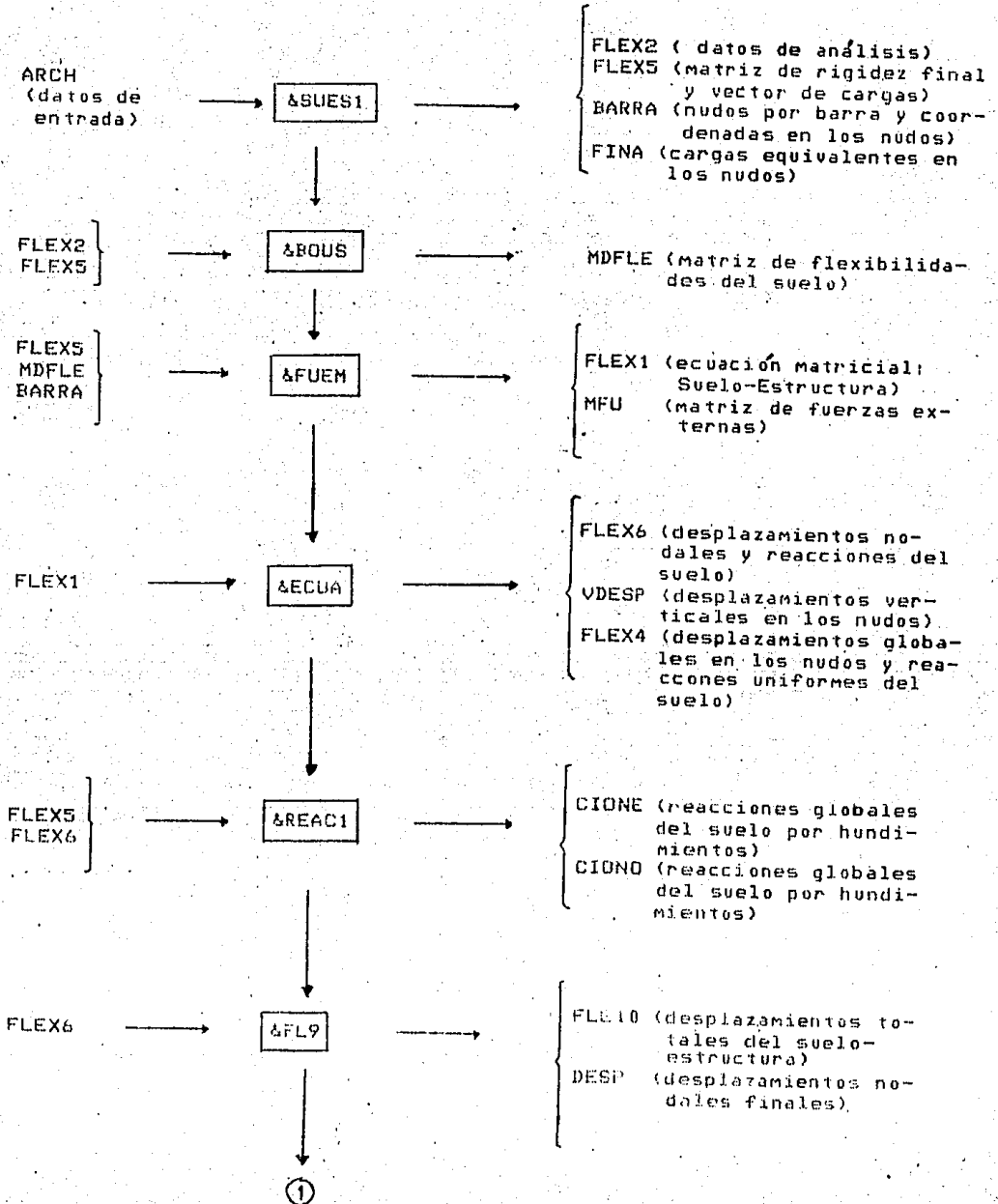
El sentido de las flechas de este sistema significa el sentido y la forma de circulación en su ejecución.

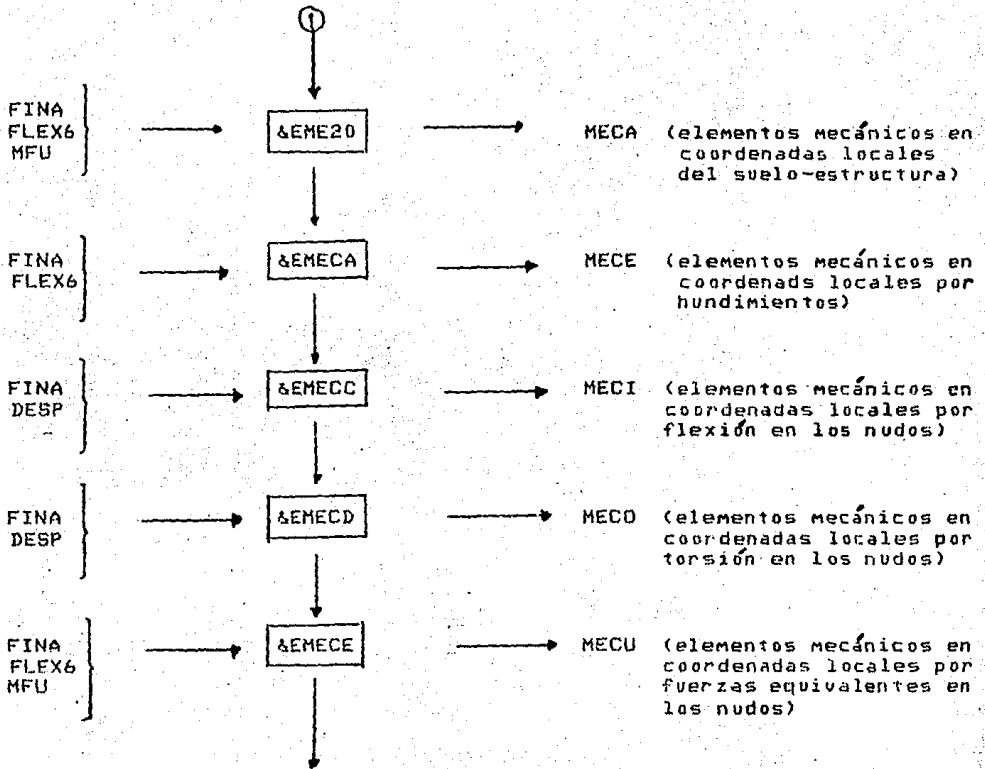
Por otra parte, el diagrama de flujo de todos los programas del sistema es bien laborioso; por lo que en su lugar se presentarán los listados de todos los programas fuente, así como el "transfer" de su comunicación:

ARCHIVOS DE ENTRADA

PROGRAMAS FUENTE

ARCHIVOS DE SALIDA





publicación de resultados



opciones

- 01 FLEX5
- 02 MDFLE
- 03 FLEX1
- 04 FLEX4
- 05 CIONE
- 06 FLE10
- 07 MECA
- 08 MECE
- 09 MECI
- 10 MECO
- 11 MECU
- 12 FIN DE PROCESO

VII

EJERCICIOS POR COMPUTADORA

EJEMPLO 1 : Cimentación compuesta por 34 barras y 24 nudos.

Se pretende construir un edificio de 10 niveles que se ubicara en el centro de la Ciudad de México. Las características de desplante de su cimentación y del suelo en esa zona, serán las siguientes:

1) Su cimentación será un cajón formado por contratrabes de sección constante igual a: 150 cm x 50 cm.

2) Las descargas de las columnas (según una bajada de cargas del edificio) y las dimensiones en planta de la cimentación se aprecian en la figura VII-1.

3) Las contratrabes son de concreto reforzado con $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

Por otro lado se llevo al laboratorio de Mecánica de Suelos 9 muestras inalteradas y representativas del suelo bajo la cimentación, el cual se observe predominantemente arcilloso. Estas muestras fueron extraídas a profundidades distintas.

Mediante un consolidómetro de anillo flotante (de la prueba de consolidación), se dedujeron 3 estratos de suelo con las siguientes características:

| ESTRATO | COEF. VARIAC. VOLUM. (m ² /ton) | ESPESOR (mts) |
|---------|--|---------------|
| 1 | 0.0154 | 3.5 |
| 2 | 0.0222 | 3.2 |
| 3 | 0.03 | 3.3 |

Se pretende determinar mediante la Interacción Suelo-Estructura, los hundimientos del suelo en cada nudo de la estructura, así como calcular las reacciones uniformes provocadas por el suelo, y finalmente, hallar los elementos mecánicos en cada extremo de las contratraves.

SOLUCION:

- 1) La numeración de nudos y de barras, se aprecia en la fig. VII-1.
- 2) Las características de los materiales son las siguientes:

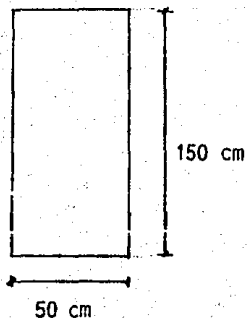
$$\begin{aligned}
 E_c &= 10,000 \sqrt{f'c} &= 10,000 \sqrt{250} &= 158100 \text{ kg/cm}^2 \\
 & & &= 1,581,000 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

$$G = E / (2(1 + \nu)) = 1581000 / (2(1 + 0.18)) = 669915.25 \text{ ton/m}^2$$

- 3) Las inercias y el área de la sección para una barra tipo, será:

(71)

$$I = (0.5)(1.5)^3 / 12 = 0.140625 \text{ m}^4$$



$$J = (0.5)^3 (1.5)^3 / (3.6(0.5^2 + 1.5^2)) = 0.046875 \text{ m}^4$$

$$A = (0.50)(1.50) = 0.75 \text{ m}^2$$

5) Con los datos anteriores se realizara un archivo en el que se anoten todas y cada una de las características de la estructura y del suelo (fig. VII-2).

Este archivo se ira formando justo en el orden en que el sistema --- "ISE87" lo requiera. Todas las unidaes empleadas estan en ton, t-m, m.

Así, primeramente se numerarán todos los nudos que forman la cimentación, conjuntamente con sus coordenadas X,Y; y con las cargas externas nodales y momentos nodales a que esta sometida en el sistema global.

Enseguida se anotarán los elementos tipos (que en este caso es uno sólo) con sus respectivas propiedades elásticas: modulo de elasticidad, momento de inercia y momento polar de inercia.

A continuación se enumerarán todas las barras anotando su nodo inicial y final, el tipo de barra y su carga uniforme respectiva (positiva hacia arriba).

Finalmente se apuntarán las características de los estratos del suelo siguientes: su espesor (en metros) y su coeficiente de variación volumétrica, m_v (en m^2/ton).

El archivo de datos de esa cimentación aparecerá en la fig. VII-2.

5) Todos los resultados del análisis: los desplazamientos nodales y los elementos mecánicos en cada barra, se encuentran anotados en las figuras VII-3 a VII-5.

De la figura VII-6 a VII-9 se tienen los diagramas de momento y cortante tomando en cuenta la Interacción Suelo-Estructura.

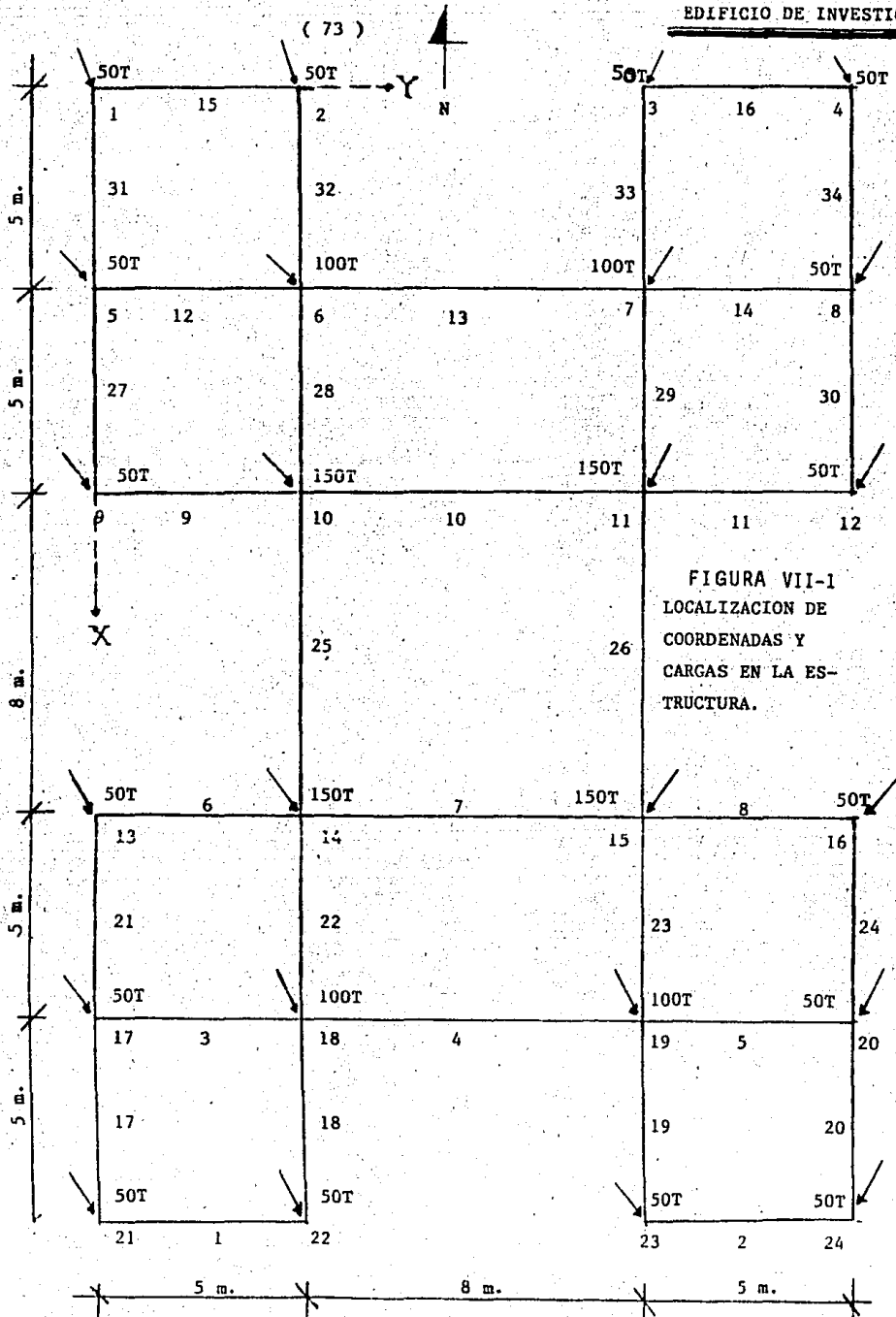
Con objeto de comparar los resultados anteriores, se realizara a continuación un análisis sin tomar en cuenta la interacción Suelo-Estructura, es decir, considerando la reacción del suelo totalmente uniforme.

También se tiene un programa de análisis de parrillas que fue realizado por el autor de este trabajo, el cual sigue los principios que se describen en el apéndice "A". Los datos de entrada del mismo (fig. VII-10) son muy semejantes a los de la Interacción Suelo-Estructura, salvo que este no toma en cuenta las características del suelo, y por otro lado, requiere una condición de apoyo en los nudos para que sea estáticamente determinada; a saber: un giro, una torsión o un desplazamiento vertical.

La geometría para esta condición, y los resultados, se presentan de la figura VII-11 a la VII-14.

Las figuras VII-15 a VII-18 se esquematizan los diagramas de momento y cortante sin tomar en cuenta la Interacción Suelo-Estructura.

EDIFICIO DE INVESTIGACION.



INVEST T-00004 IS ON CR00021 USING 00008 ELKS R-0000

0001 INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA
 0002 NUMERO NUDOS
 0003 24
 0004 NUDD, X(mts), Y(mts), Fz(ton), Mx(ton-m), My(ton-m)
 0005 1,0,0,-50,0,0
 0006 2,0,0,-50,0,0
 0007 3,0,15,-50,0,0
 0008 4,0,18,-50,0,0
 0009 5,5,0,-50,0,0
 0010 6,5,5,-100,0,0
 0011 7,5,15,-100,0,0
 0012 8,5,18,-50,0,0
 0013 9,10,0,-50,0,0
 0014 10,10,5,-150,0,0
 0015 11,10,15,-150,0,0
 0016 12,10,18,-50,0,0
 0017 13,18,0,-50,0,0
 0018 14,18,5,-150,0,0
 0019 15,18,15,-150,0,0
 0020 16,18,18,-50,0,0
 0021 17,23,0,-50,0,0
 0022 18,23,5,-100,0,0
 0023 19,23,15,-100,0,0
 0024 20,23,18,-50,0,0
 0025 21,28,0,-50,0,0
 0026 22,28,5,-50,0,0
 0027 23,28,15,-50,0,0
 0028 24,28,18,-50,0,0
 0029 NO. ELEM. TIPO:
 0030 1
 0031 TIPO E(t/m2), I(m4), G(t/m2), J(m4)
 0032 1,1581000,0.140625,007915.25,0.046875
 0033 NO. BARRRAS TOTALES
 0034 34
 0035 BARRA, I, J, TIPO, CARGA UNIFORME(t/m):
 0036 1,21,22,1,0.00
 0037 2,23,24,1,0.00
 0038 3,17,18,1,0.00
 0039 4,18,19,1,0.00
 0040 5,19,20,1,0
 0041 6,15,14,1,0
 0042 7,14,15,1,0
 0043 8,15,16,1,0
 0044 9,9,10,1,0
 0045 10,10,11,1,0
 0046 11,11,12,1,0
 0047 12,5,6,1,0
 0048 13,6,7,1,0
 0049 14,7,8,1,0
 0050 15,1,2,1,0
 0051 16,3,4,1,0
 0052 17,17,21,1,0
 0053 18,10,22,1,0
 0054 19,15,23,1,0
 0055 20,20,24,1,0
 0056 21,15,17,1,0
 0057 22,14,18,1,0
 0058 23,15,19,1,0

FIGURA VII - 2

ARCHIVO DE ALIMENTACION

(75)

0059 24,16,20,1,0
0060 25,10,14,1,0
0061 26,11,15,1,0
0062 27,9,7,1,0
0063 28,8,10,1,0
0064 29,7,11,1,0
0065 30,8,12,1,0
0066 31,1,5,1,00
0067 32,2,6,1,0
0068 33,3,7,1,0
0069 34,4,8,1,0
0070 NO. ESTRATOS
0071 3
0072 ESTRATO, ESPESOR (HTO), HUCH2/10H
0073 1,3.5,0.015A
0074 2,3.2,0.0222
0075 3,3.3,0.0341
0076 FIN DE DATOS

INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA EN CIMENTACIONES SUPERFICIALES

REALIZACION : IVAN SANTACRUZ CHAVANDO

DATOS GENERALES DE ANALISIS :

NUDOS TOTALES DE LA CIMENTACION : 24

COORDENADAS GLOBALES Y CARGAS NODALES

| NUDO | X(mts) | Y(mts) | Fz(ton) | Hx(t-m) | Hy(t-m) |
|------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1 | 0.00 | 0.00 | -50.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | 5.00 | -50.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 0.00 | 10.00 | -50.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 0.00 | 15.00 | -50.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | 5.00 | 0.00 | -50.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 5.00 | 5.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | 5.00 | 10.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | 5.00 | 15.00 | -50.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | 10.00 | 0.00 | -50.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 10.00 | 5.00 | -150.0 | 0.00 | 0.00 |
| 11 | 10.00 | 10.00 | -150.0 | 0.00 | 0.00 |
| 12 | 10.00 | 15.00 | -50.00 | 0.00 | 0.00 |
| 13 | 15.00 | 0.00 | -50.00 | 0.00 | 0.00 |
| 14 | 15.00 | 5.00 | -150.0 | 0.00 | 0.00 |
| 15 | 15.00 | 10.00 | -150.0 | 0.00 | 0.00 |
| 16 | 15.00 | 15.00 | -50.00 | 0.00 | 0.00 |

(77)

| | | | | | |
|----|-------|-------|---------|------|------|
| 17 | 25.00 | 0.00 | -50.00 | 0.00 | 0.00 |
| 18 | 25.00 | 5.00 | -100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19 | 25.00 | 15.00 | -100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20 | 25.00 | 18.00 | -50.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21 | 28.00 | 0.00 | -50.00 | 0.00 | 0.00 |
| 22 | 28.00 | 5.00 | -50.00 | 0.00 | 0.00 |
| 23 | 28.00 | 15.00 | -50.00 | 0.00 | 0.00 |
| 24 | 28.00 | 18.00 | -50.00 | 0.00 | 0.00 |

NUMERO DE ELEMENTOS TIPO : 1

| TIPO | E(t/m2) | I(m4) | G(t/m2) | J(m4) |
|------|------------|---------|-----------|---------|
| 1 | 1581000.00 | .140625 | 669913.25 | .046875 |

NUMERO DE BARRAS TOTALES : 34

| BARRA | NUDO i | NUDO j | TIPO | CARGA UNIFORME (t/m) |
|-------|--------|--------|------|----------------------|
| 1 | 21 | 22 | 1 | 0.00 |
| 2 | 23 | 24 | 1 | 0.00 |
| 3 | 17 | 18 | 1 | 0.00 |
| 4 | 16 | 19 | 1 | 0.00 |
| 5 | 19 | 20 | 1 | 0.00 |
| 6 | 15 | 14 | 1 | 0.00 |
| 7 | 14 | 15 | 1 | 0.00 |
| 8 | 15 | 16 | 1 | 0.00 |
| 9 | 9 | 10 | 1 | 0.00 |
| 10 | 10 | 11 | 1 | 0.00 |
| 11 | 11 | 12 | 1 | 0.00 |

(78)

| | | | | |
|----|----|----|---|------|
| 12 | 5 | 6 | 1 | 0.00 |
| 13 | 6 | 7 | 1 | 0.00 |
| 14 | 7 | 8 | 1 | 0.00 |
| 15 | 1 | 2 | 1 | 0.00 |
| 16 | 3 | 4 | 1 | 0.00 |
| 17 | 17 | 21 | 1 | 0.00 |
| 18 | 18 | 22 | 1 | 0.00 |
| 19 | 19 | 25 | 1 | 0.00 |
| 20 | 20 | 24 | 1 | 0.00 |
| 21 | 15 | 17 | 1 | 0.00 |
| 22 | 14 | 18 | 1 | 0.00 |
| 23 | 15 | 19 | 1 | 0.00 |
| 24 | 16 | 20 | 1 | 0.00 |
| 25 | 10 | 14 | 1 | 0.00 |
| 26 | 11 | 15 | 1 | 0.00 |
| 27 | 5 | 9 | 1 | 0.00 |
| 28 | 6 | 10 | 1 | 0.00 |
| 29 | 7 | 11 | 1 | 0.00 |
| 30 | 8 | 12 | 1 | 0.00 |
| 31 | 1 | 5 | 1 | 0.00 |
| 32 | 2 | 6 | 1 | 0.00 |
| 33 | 3 | 7 | 1 | 0.00 |
| 34 | 4 | 8 | 1 | 0.00 |

(79)

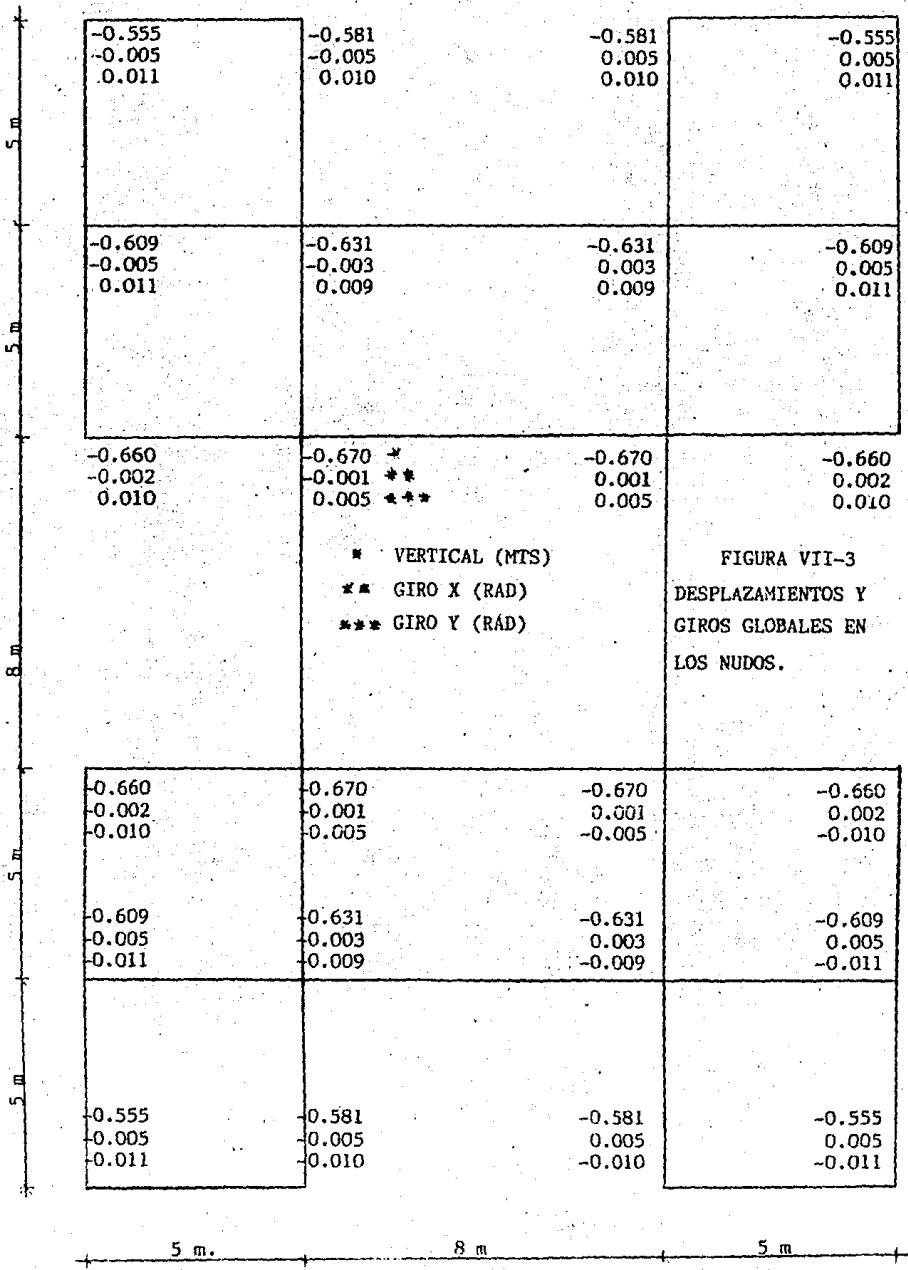
NUMEROS DE ESTRATOS DEL SUELO : 3

| ESTRATO | ESPESOR (mts) | COEF. DE VAR. VOL. (m ² /ton) |
|---------|---------------|--|
| 1 | 3.50000 | .013400 |
| 2 | 3.20000 | .022200 |
| 3 | 3.30000 | .034100 |

F I N D E D A T O S

MOMENTOS EN LOS NODOS -----

| NODO | VERTICAL (KGS) | GIRO X (GRAD) | GIRO Y (GRAD) |
|------|----------------|---------------|---------------|
| 1 | -0.555 | -0.005 | .011 |
| 2 | -0.581 | -0.005 | .010 |
| 3 | -0.581 | .005 | .010 |
| 4 | -0.555 | .005 | .011 |
| 5 | -0.609 | -0.005 | .011 |
| 6 | -0.651 | -0.005 | .009 |
| 7 | -0.651 | .005 | .009 |
| 8 | -0.609 | .005 | .011 |
| 9 | -0.660 | -0.002 | .010 |
| 10 | -0.670 | -0.001 | .005 |
| 11 | -0.670 | .001 | .005 |
| 12 | -0.660 | .002 | .010 |
| 13 | -0.660 | -0.002 | -0.010 |
| 14 | -0.670 | -0.001 | -0.005 |
| 15 | -0.670 | .001 | -0.005 |
| 16 | -0.660 | .002 | -0.010 |
| 17 | -0.609 | -0.005 | -0.011 |
| 18 | -0.651 | -0.005 | -0.009 |
| 19 | -0.651 | .005 | -0.009 |
| 20 | -0.609 | .005 | -0.011 |
| 21 | -0.555 | -0.005 | -0.011 |
| 22 | -0.581 | -0.005 | -0.010 |
| 23 | -0.581 | .005 | -0.010 |
| 24 | -0.555 | .005 | -0.011 |



REACCIONES POR NUDO (MITAD BARRA)

| NUDO | REACCION (T/M) |
|------|----------------|
| 1 | 14.341 |
| 2 | 14.269 |
| 3 | 14.269 |
| 4 | 14.341 |
| 5 | 8.599 |
| 6 | 5.888 |
| 7 | 5.888 |
| 8 | 8.599 |
| 9 | 17.039 |
| 10 | 6.888 |
| 11 | 6.888 |
| 12 | 17.039 |
| 13 | 17.039 |
| 14 | 6.888 |
| 15 | 6.888 |
| 16 | 17.039 |
| 17 | 8.599 |
| 18 | 5.888 |
| 19 | 5.888 |
| 20 | 8.599 |
| 21 | 14.341 |
| 22 | 14.269 |
| 23 | 14.269 |
| 24 | 14.341 |

(83)

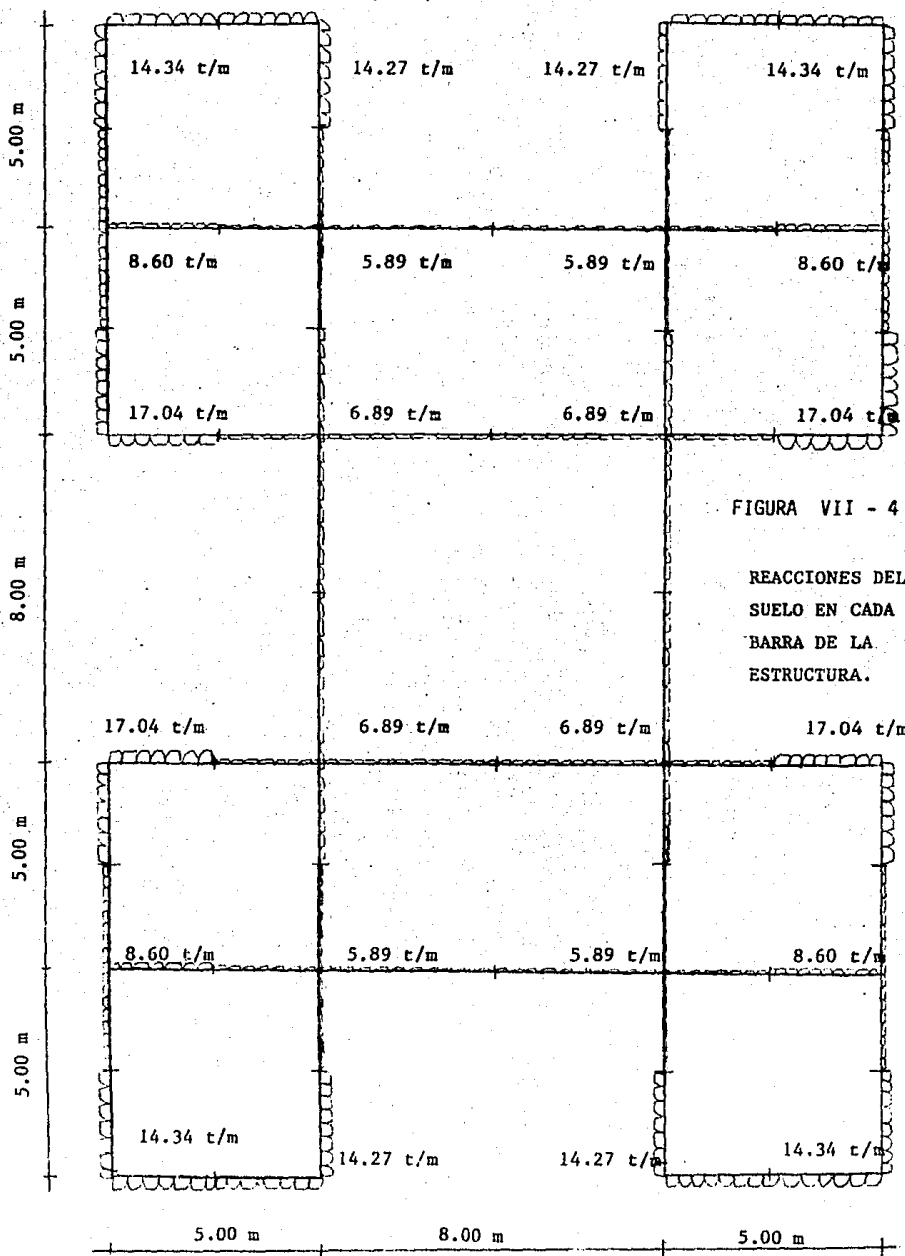


FIGURA VII - 4

REACCIONES DEL
SUELO EN CADA
BARRA DE LA
ESTRUCTURA.

ELEMENTOS MECANICOS EN COORDENADAS LOCALES POR INTERACCION S.E.

| BARRA | CORTANTE (ton) | TORSION (t-m) | FLEXION (t-m) |
|---------|----------------|---------------|---------------|
| 21 - 22 | -52.647 | 3.790 | .540 |
| 22 - 21 | -38.668 | 3.790 | -14.469 |
| 23 - 24 | -38.678 | -3.790 | -14.464 |
| 24 - 23 | -32.048 | -3.790 | .536 |
| 17 - 18 | 23.936 | 6.663 | 16.961 |
| 18 - 17 | -60.154 | 6.663 | -201.737 |
| 18 - 19 | -23.552 | .000 | -205.035 |
| 19 - 18 | -23.552 | .000 | -205.032 |
| 19 - 20 | -60.150 | -6.663 | -201.728 |
| 20 - 19 | 23.932 | -6.663 | 16.952 |
| 15 - 14 | -19.638 | 30.279 | -17.292 |
| 14 - 13 | -40.181 | 30.279 | -100.373 |
| 14 - 15 | -27.552 | .000 | -111.539 |
| 15 - 14 | -27.551 | .000 | -111.535 |
| 15 - 16 | -40.177 | -30.279 | -100.364 |
| 16 - 15 | -19.641 | -30.279 | -17.301 |
| 9 - 10 | -19.635 | -30.279 | -17.287 |
| 10 - 9 | -40.183 | -30.279 | -100.380 |
| 10 - 11 | -27.552 | .000 | -111.539 |
| 11 - 10 | -27.551 | .000 | -111.536 |
| 11 - 12 | -40.180 | 30.279 | -100.371 |
| 12 - 11 | -19.639 | 30.279 | -17.295 |
| 5 - 6 | 23.937 | -6.663 | 16.963 |
| 6 - 5 | -60.155 | -6.663 | -201.740 |
| 6 - 7 | -23.553 | .000 | -205.037 |
| 7 - 6 | -23.551 | .000 | -205.031 |

| | | | |
|---------|---------|---------|----------|
| 7 - 8 | -60.102 | 6.685 | -201.731 |
| 8 - 7 | 25.954 | 6.685 | 16.956 |
| 1 - 2 | -52.649 | -3.790 | .334 |
| 2 - 1 | -58.678 | -3.790 | -14.464 |
| 3 - 4 | -58.677 | 3.790 | -14.461 |
| 4 - 3 | -52.850 | 3.790 | .332 |
| 17 - 21 | -40.198 | -3.556 | -71.771 |
| 21 - 17 | -17.155 | -3.556 | 3.785 |
| 18 - 22 | -59.072 | -14.465 | -99.357 |
| 22 - 18 | -11.522 | -14.465 | -3.791 |
| 19 - 23 | -59.070 | 14.466 | -99.355 |
| 23 - 19 | -11.523 | 14.466 | -3.795 |
| 20 - 24 | -40.200 | .336 | -71.775 |
| 24 - 20 | -17.152 | .336 | 3.789 |
| 13 - 17 | -50.562 | -17.295 | -30.280 |
| 17 - 13 | -53.735 | -17.295 | -65.090 |
| 14 - 18 | -54.716 | -11.167 | -296.655 |
| 18 - 14 | 22.778 | -11.167 | -106.040 |
| 15 - 19 | -54.719 | 11.167 | -296.659 |
| 19 - 15 | 22.779 | 11.167 | -106.037 |
| 16 - 20 | -50.562 | 17.296 | -30.280 |
| 20 - 16 | -53.735 | 17.296 | -65.090 |
| 10 - 14 | -27.551 | .000 | -326.932 |
| 14 - 10 | -27.552 | .000 | -326.934 |
| 11 - 15 | -27.551 | -0.000 | -326.932 |
| 15 - 11 | -27.552 | -0.000 | -326.933 |
| 5 - 9 | -53.741 | 17.296 | -65.104 |
| 9 - 5 | -50.556 | 17.296 | -30.265 |
| 6 - 10 | 22.777 | 11.167 | -106.042 |
| 10 - 6 | -54.717 | 11.167 | -296.652 |

| | | | |
|--------|---------|---------|----------|
| 7 - 11 | 22,777 | -11,167 | -106,042 |
| 11 - 7 | -54,716 | -11,167 | -296,650 |
| 9 - 12 | -33,737 | -17,295 | -65,095 |
| 12 - 8 | -50,360 | -17,295 | -30,276 |
| 1 - 5 | -17,153 | .336 | 3,788 |
| 5 - 1 | -40,199 | .336 | -71,772 |
| 2 - 6 | -11,321 | 14,466 | -3,759 |
| 6 - 2 | -39,072 | 14,466 | -49,359 |
| 3 - 7 | -11,321 | -14,466 | -3,768 |
| 7 - 3 | -39,073 | -14,466 | -49,360 |
| 4 - 6 | -17,150 | -.336 | 3,793 |
| 8 - 4 | -40,201 | -.336 | -71,778 |

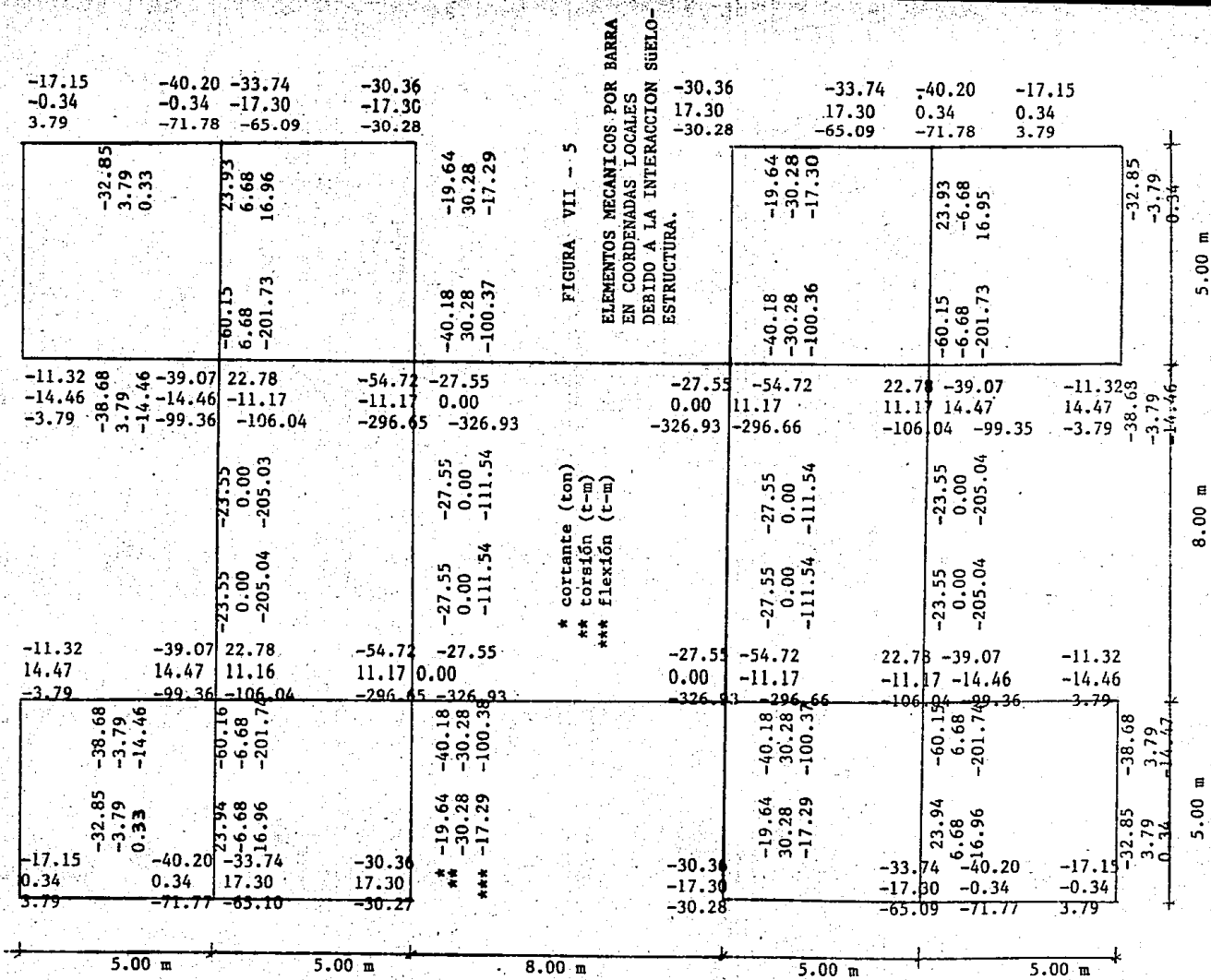


DIAGRAMA DE MOMENTO Y CORTANTE TOMANDO EN CUENTA LA INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA

EDIFICIO ASIMETRICO

BARRA CENTRAL LADO CORTO

FIGURA VII - 6

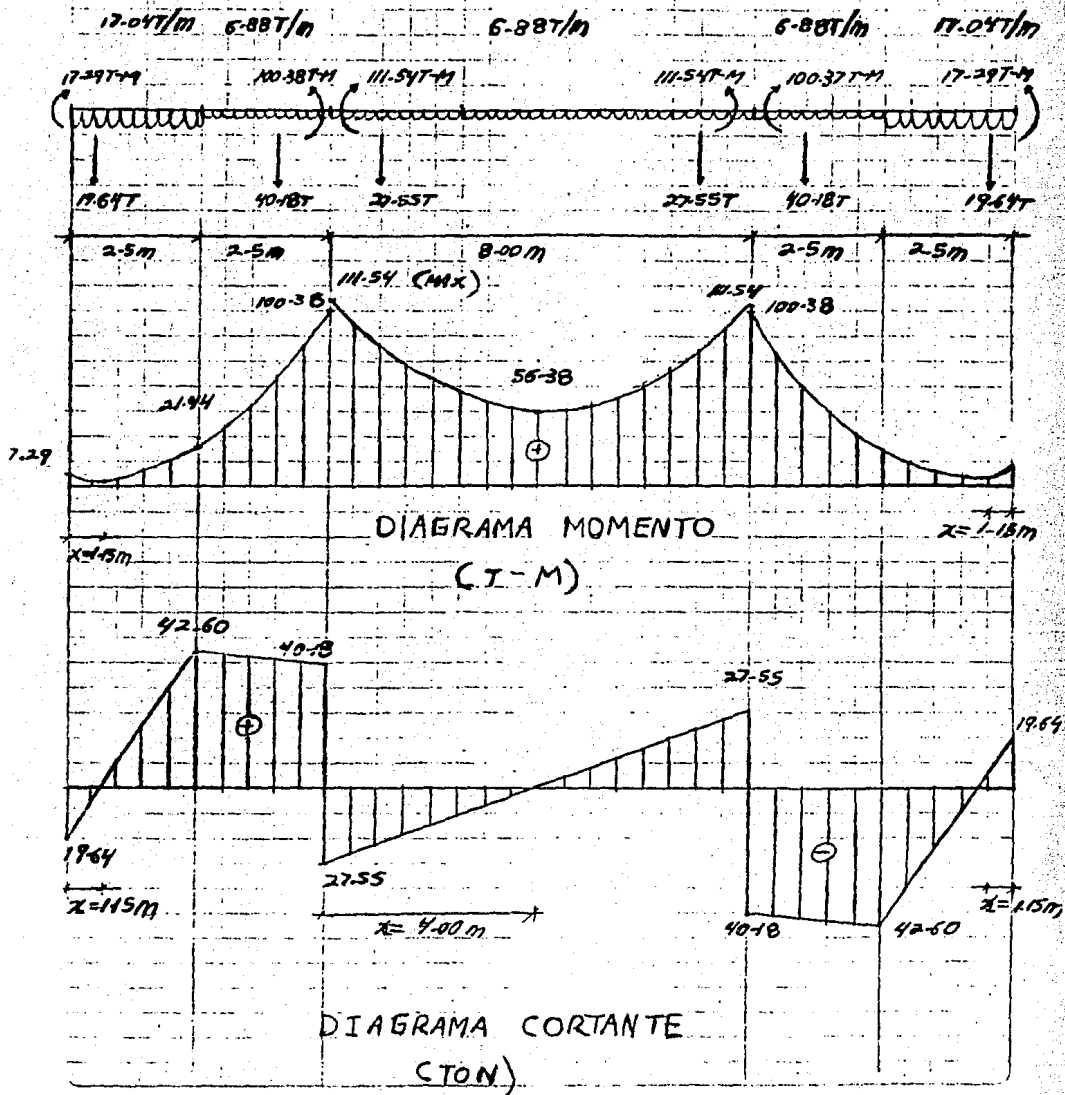
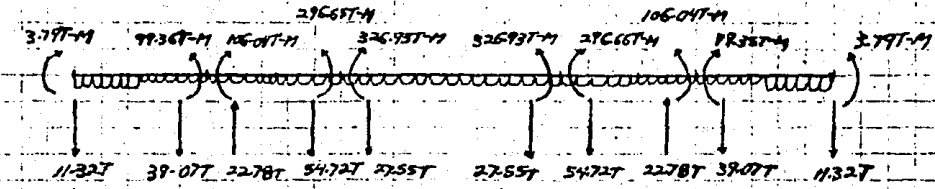


DIAGRAMA DE MOMENTO Y CORTANTE TOMANDO EN CUENTA LA INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA.

FIGURA VII - 7

EDIFICIO ASIMETRICO BARRA CENTRAL LADO LARGO.

14.27T/m 5.88T/m 6.88T/m 5.88T/m 14.27T/m



2.5m 2.5m 2.5m 2.5m 8.00m 2.5m 2.5m 2.5m 2.5m

DIAGRAMA MOMENTO (CT-M)

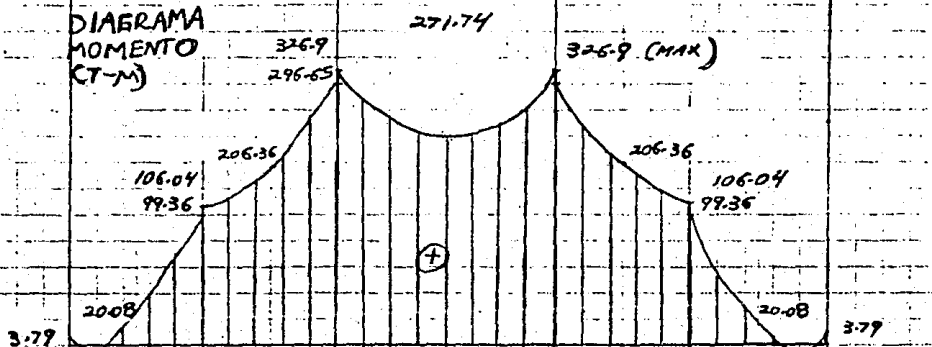
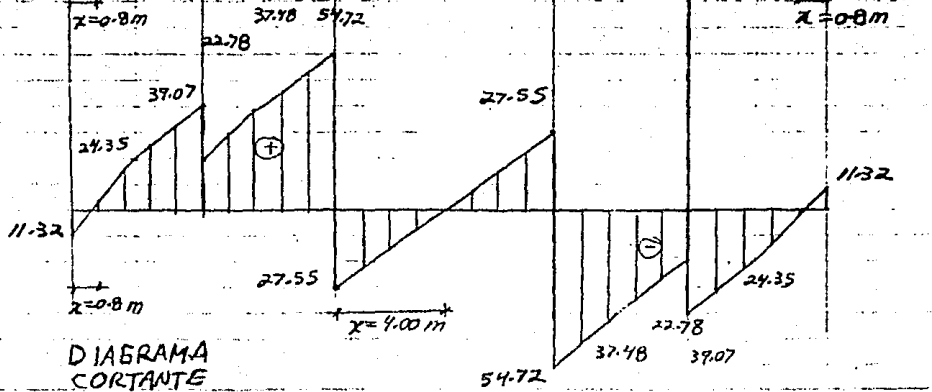


DIAGRAMA CORTANTE (TON)



(TON)

DIAGRAMA DE MOMENTO Y CORTANTE TOMANDO EN CUENTA LA INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA.

FIGURA VII - 8

EDIFICIO ASIMETRICO BARRA BORDE LADO LARGO

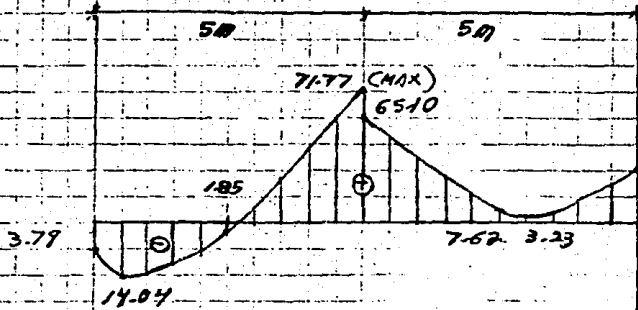
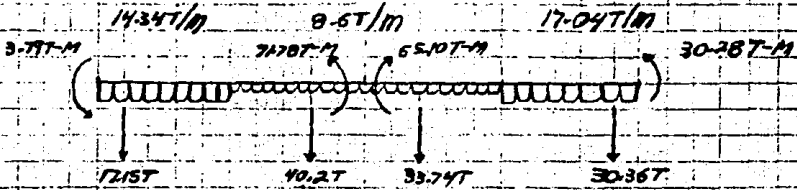


DIAGRAMA MOMENTO (T-M)

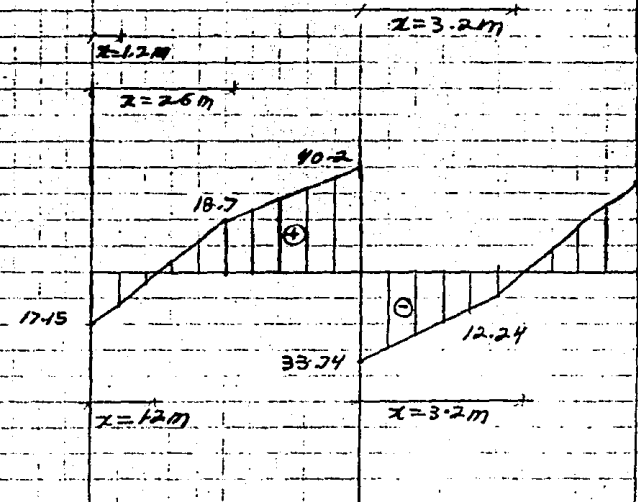


DIAGRAMA CORTANTE (T)

DIAGRAMA DE MOMENTO Y CORTANTE TOMANDO EN CUENTA LA

INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA

FIGURA VII- 9

EDIFICIO ASIMETRICO

BARRA BORDE LADO CORTO

8.60T/m

5.89T/m

5.89T/m

5.89T/m

8.6T/m

16.96T-M

201.74T-M

205.04T-M

205.03T-M

201.74T-M

16.96T-M

23.94T

60.16T

23.55T

23.55T

60.15T

23.94T

2.5m

2.5m

8.00m

2.5m

2.5m

201.74

205.04

205.04

201.74

157.96

69.76

$x = 0.635m$

69.76

DIAGRAMA
MOMENTO
CT-M)

$x = 0.635m$

5.96

60.16

16.96

45.44

23.55

9.4

23.55

$x = 1.00m$

⊖

23.94

DIAGRAMA
CORTANTE
CT(N)

45.54

60.16

PARI T-00004 IS ON CR00021 USING 00007 ELKS R-0000

0001 ANALISIS DE PARRILLAS
 0002 EDIFICIO DE INVESTIGACION
 0003 NUMERO NUDOS
 0004 24
 0005 NUDO, X(m), Y(m), DZ, CX, CY, (1-IMPEDIDO 0-NO), FZ BX BY
 0006 1,0,0,1,1,1,-50,0,0
 0007 2,0,5,0,0,0,-50,0,0
 0008 3,0,13,0,0,0,-50,0,0
 0009 4,0,18,1,1,1,-50,0,0
 0010 5,5,0,0,0,0,-50,0,0
 0011 6,5,5,0,0,0,-100,0,0
 0012 7,5,13,0,0,0,-100,0,0
 0013 8,5,18,0,0,0,-50,0,0
 0014 9,10,0,0,0,0,-50,0,0
 0015 10,10,5,0,0,0,-150,0,0
 0016 11,10,13,0,0,0,-150,0,0
 0017 12,10,18,0,0,0,-50,0,0
 0018 13,18,0,0,0,0,-50,0,0
 0019 14,18,5,0,0,0,-150,0,0
 0020 15,18,13,0,0,0,-150,0,0
 0021 16,18,18,0,0,0,-50,0,0
 0022 17,23,0,0,0,0,-50,0,0
 0023 18,23,5,0,0,0,-100,0,0
 0024 19,23,13,0,0,0,-100,0,0
 0025 20,23,18,0,0,0,-50,0,0
 0026 21,28,0,1,1,1,-50,0,0
 0027 22,28,5,0,0,0,-50,0,0
 0028 23,28,13,0,0,0,-50,0,0
 0029 24,28,18,1,1,1,-50,0,0
 0030 NO. ELEMENTOS TIPO:
 0031 1
 0032 TIPO E(t/m2), I(m4), G(t/m2), J(m4)
 0033 1,1581000,0,140625,869915,25,0,046875
 0034 NO. BARRAS TOTALES:
 0035 34
 0036 BARRA, I, J, TIPO, CARGA UNIFORME(t/m)
 0037 1,21,22,1,8.54
 0038 2,23,24,1,8.54
 0039 3,17,18,1,13.08
 0040 4,18,19,1,8.990
 0041 5,19,20,1,13.08
 0042 6,13,14,1,8.54
 0043 7,14,15,1,19.46
 0044 8,15,16,1,8.54
 0045 9,9,10,1,8.54
 0046 10,10,11,1,19.46
 0047 11,11,12,1,8.54
 0048 12,5,6,1,13.08
 0049 13,6,7,1,8.99
 0050 14,7,8,1,13.08
 0051 15,1,2,1,8.54
 0052 16,5,4,1,8.54
 0053 17,17,21,1,8.54
 0054 18,18,22,1,8.54
 0055 19,17,23,1,8.54
 0056 20,20,24,1,8.54
 0057 21,13,17,1,8.54
 0058 22,14,18,1,13.08

FIGURA VII - 10

ARCHIVO DE ALIMENTACION

0057 25,15,19,1,13.08
0060 24,16,20,1,6.54
0061 25,10,14,1,10.47
0062 26,11,15,1,10.47
0063 27,5,9,1,6.54
0064 28,6,10,1,13.08
0065 29,7,11,1,13.08
0066 30,8,12,1,6.54
0067 31,1,5,1,6.54
0068 32,2,6,1,6.54
0069 33,3,7,1,6.54
0070 34,4,8,1,6.54
0071 FIN DE DATOS
0072

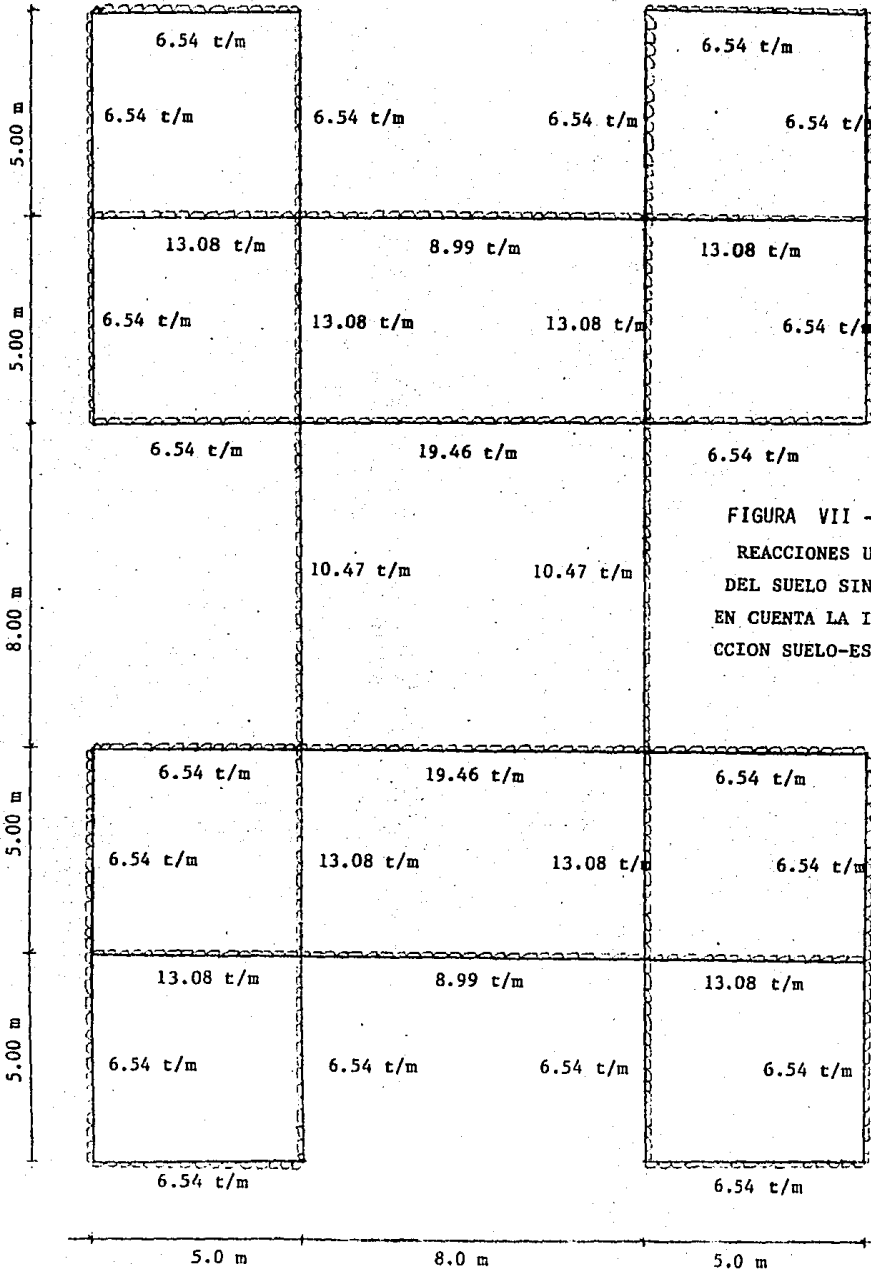


FIGURA VII - 12
REACCIONES UNIFORMES
DEL SUELO SIN TOMAR
EN CUENTA LA INTERA-
CCION SUELO-ESTRUCTURA.

ANALISIS ESTRUCTURAL DE PARRILLAS

PROYECTO : EDIFICIO DE INVESTIGACION

PROPIEDADES DE LAS BARRAS

| MODO I | MODO J | EXT/IN2 | I(IN) | EXT/IN2 | J(IN) | LONGITUD |
|--------|--------|------------|---------|------------|---------|----------|
| 21 | 22 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 23 | 24 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 17 | 18 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 18 | 19 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 6.000 |
| 19 | 20 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 13 | 14 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 14 | 15 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 6.000 |
| 15 | 16 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 9 | 10 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 10 | 11 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 6.000 |
| 11 | 12 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 5 | 6 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 6 | 7 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 6.000 |
| 7 | 8 | 1501000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 1 | 2 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 3 | 4 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | .000 |
| 17 | 21 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 18 | 22 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |

| | | | | | | |
|----|----|------------|---------|------------|---------|-------|
| 19 | 25 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 20 | 24 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 13 | 17 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 14 | 18 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 15 | 19 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 16 | 20 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 10 | 14 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 8.000 |
| 11 | 15 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 8.000 |
| 5 | 9 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 6 | 10 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 7 | 11 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 8 | 12 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 1 | 5 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 2 | 6 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 3 | 7 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 4 | 8 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |

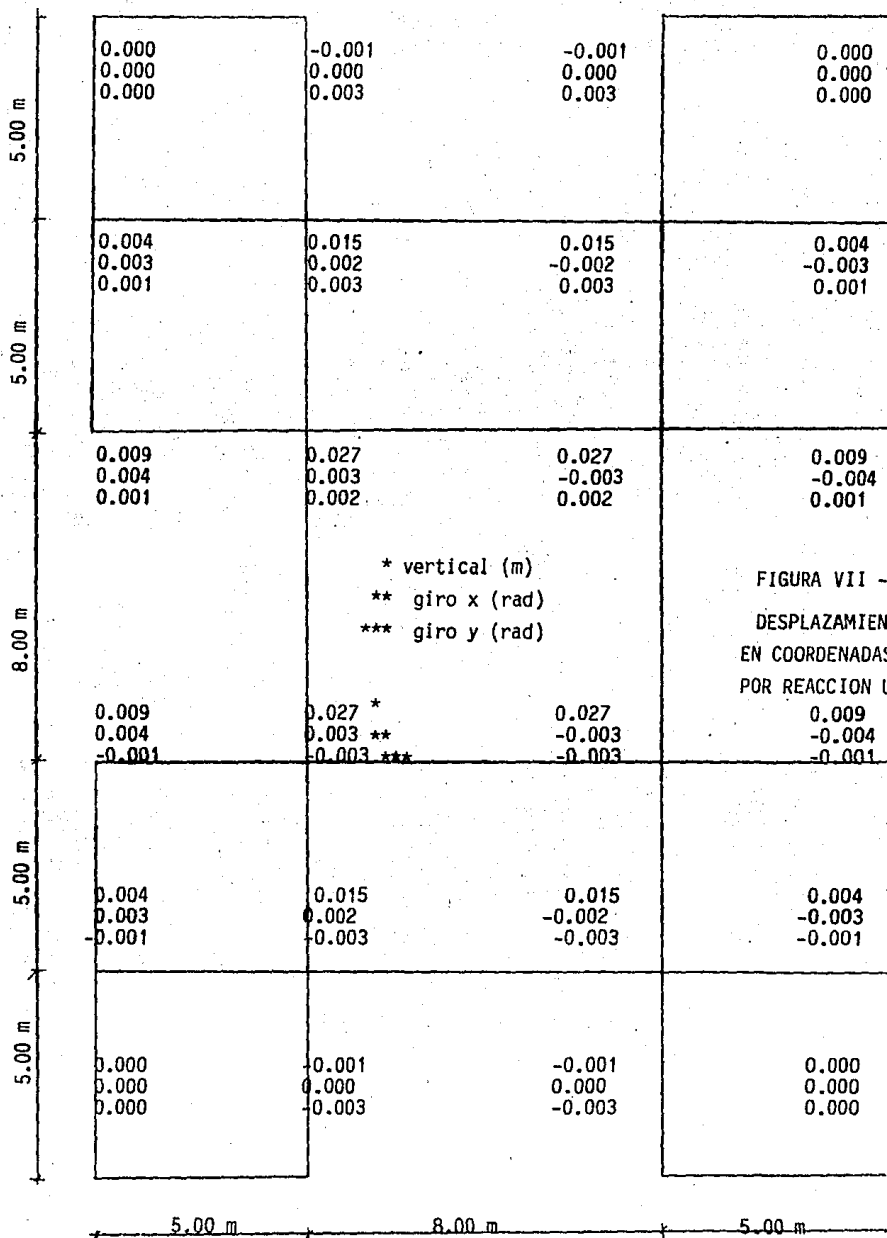
CARACTERISTICAS DE LOS MODOS

| RUZO | X(RT5) | Y(RT5) | DZ | GX | GY | FZ(TON) | HX(T-H) | HY(T-H) |
|------|--------|--------|----|----|----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.000 | 0.000 | 1 | 1 | 1 | -17.50 | 13.625 | -13.625 |
| 2 | 0.000 | 5.000 | 0 | 0 | 0 | -17.50 | -13.625 | -13.625 |
| 3 | 0.000 | 10.000 | 0 | 0 | 0 | -17.50 | 13.625 | -13.625 |
| 4 | 0.000 | 15.000 | 1 | 1 | 1 | -17.50 | -13.625 | -13.625 |
| 5 | 5.000 | 0.000 | 0 | 0 | 0 | 15.40 | 20.250 | 1.300 |
| 6 | 5.000 | 5.000 | 0 | 0 | 0 | 17.71 | 20.697 | -13.625 |

| | | | | | | | | |
|----|--------|--------|---|---|---|--------|---------|---------|
| 7 | 5.000 | 15.000 | 0 | 0 | 0 | 17.71 | -20.697 | -15.625 |
| 8 | 5.000 | 18.000 | 0 | 0 | 0 | 15.40 | -27.250 | 0.000 |
| 9 | 10.000 | 0.000 | 0 | 0 | 0 | -17.50 | 15.625 | 15.625 |
| 10 | 10.000 | 5.000 | 0 | 0 | 0 | 18.77 | 90.162 | -28.590 |
| 11 | 10.000 | 15.000 | 0 | 0 | 0 | 18.77 | -90.162 | -28.590 |
| 12 | 10.000 | 18.000 | 0 | 0 | 0 | -17.50 | -15.625 | 15.625 |
| 13 | 18.000 | 0.000 | 0 | 0 | 0 | -17.50 | 15.625 | -15.625 |
| 14 | 18.000 | 5.000 | 0 | 0 | 0 | 18.77 | 90.162 | 28.590 |
| 15 | 18.000 | 15.000 | 0 | 0 | 0 | 18.77 | -90.162 | 28.590 |
| 16 | 18.000 | 18.000 | 0 | 0 | 0 | -17.50 | -15.625 | -15.625 |
| 17 | 25.000 | 0.000 | 0 | 0 | 0 | 15.40 | 27.250 | 0.000 |
| 18 | 25.000 | 5.000 | 0 | 0 | 0 | 17.71 | 20.697 | 15.625 |
| 19 | 25.000 | 15.000 | 0 | 0 | 0 | 17.71 | -20.697 | 15.625 |
| 20 | 25.000 | 18.000 | 0 | 0 | 0 | 15.40 | -27.250 | 0.000 |
| 21 | 28.000 | 0.000 | 1 | 1 | 1 | -17.50 | 15.625 | 15.625 |
| 22 | 28.000 | 5.000 | 0 | 0 | 0 | -17.50 | -15.625 | 15.625 |
| 23 | 28.000 | 15.000 | 0 | 0 | 0 | -17.50 | 15.625 | 15.625 |
| 24 | 28.000 | 18.000 | 1 | 1 | 1 | -17.50 | -15.625 | 15.625 |

DESPLAZAMIENTOS NODALES GLOBALES

| NODO | VERTICAL (mts) | GIRO X (rad) | GIRO Y (rad) |
|------|----------------|--------------|--------------|
| 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2 | -0.001 | -0.000 | -0.005 |
| 3 | -0.001 | 0.000 | -0.005 |
| 4 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5 | .004 | .005 | -0.001 |
| 6 | .015 | .002 | -0.005 |
| 7 | .015 | -0.002 | -0.005 |
| 8 | .004 | -0.005 | -0.001 |
| 9 | .009 | .004 | -0.001 |
| 10 | .027 | .005 | -0.002 |
| 11 | .020 | -0.005 | -0.002 |
| 12 | .009 | -0.004 | -0.001 |
| 13 | .009 | .004 | .001 |
| 14 | .027 | .005 | .002 |
| 15 | .027 | -0.005 | .002 |
| 16 | .009 | -0.004 | .001 |
| 17 | .004 | .005 | .001 |
| 18 | .015 | .002 | .005 |
| 19 | .015 | -0.002 | .005 |
| 20 | .004 | -0.005 | .001 |
| 21 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 22 | -0.001 | -0.000 | .005 |
| 23 | -0.001 | .000 | .005 |
| 24 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |



ELEMENTOS MECANICOS EN COORDENADAS LOCALES

| BARRA | CORTANTE (ton) | TORSION (t-m) | FLEXION (t-m) |
|---------|----------------|---------------|---------------|
| 21 - 22 | -9.624 | 21.166 | 20.167 |
| 22 - 21 | -22.676 | 21.166 | -12.464 |
| 23 - 24 | -22.676 | -21.166 | -12.464 |
| 24 - 23 | -9.624 | -21.166 | 20.167 |
| 17 - 18 | -43.264 | 11.244 | -8.517 |
| 18 - 17 | -22.114 | 11.244 | 44.609 |
| 18 - 19 | -35.959 | 0.000 | 40.517 |
| 19 - 18 | -35.959 | 0.000 | 40.521 |
| 19 - 20 | -22.114 | -11.244 | 44.609 |
| 20 - 19 | -43.266 | -11.244 | -8.521 |
| 15 - 14 | -31.429 | 5.060 | -8.680 |
| 14 - 13 | -1.271 | 5.060 | 67.515 |
| 14 - 15 | -77.640 | 0.000 | 58.906 |
| 15 - 14 | -77.640 | 0.000 | 58.904 |
| 15 - 16 | -1.271 | -5.060 | 67.515 |
| 16 - 15 | -31.429 | -5.060 | -8.681 |
| 9 - 10 | -31.429 | -5.060 | -8.679 |
| 10 - 9 | -1.271 | -5.060 | 67.514 |
| 10 - 11 | -77.640 | -0.000 | 58.906 |
| 11 - 10 | -77.640 | -0.000 | 58.904 |
| 11 - 12 | -1.271 | 5.060 | 67.514 |
| 12 - 11 | -31.429 | 5.060 | -8.679 |
| 5 - 6 | -43.266 | -11.244 | -8.520 |
| 6 - 5 | -22.114 | -11.244 | 44.609 |
| 6 - 7 | -35.959 | 0.000 | 40.521 |
| 7 - 6 | -35.961 | 0.000 | 40.517 |

| | | | |
|---------|---------|---------|----------|
| 7 - 8 | -22.116 | 11.244 | 44.804 |
| 8 - 7 | -43.284 | 11.244 | -8.316 |
| 1 - 2 | -9.824 | -21.166 | 20.167 |
| 2 - 1 | -22.076 | -21.166 | -12.464 |
| 3 - 4 | -22.676 | 21.166 | -12.464 |
| 4 - 3 | -9.624 | 21.166 | 20.167 |
| 17 - 21 | 7.586 | -16.407 | -5.114 |
| 21 - 17 | -40.886 | -16.407 | -123.792 |
| 18 - 22 | -5.567 | -12.464 | 32.753 |
| 22 - 18 | -27.155 | -12.464 | -21.166 |
| 19 - 25 | -5.566 | 12.464 | 32.758 |
| 25 - 19 | -27.134 | 12.464 | -21.163 |
| 20 - 24 | 7.585 | 16.407 | -5.115 |
| 24 - 20 | -40.885 | 16.407 | -123.792 |
| 13 - 17 | -16.589 | -8.083 | -5.061 |
| 17 - 13 | -14.111 | -8.083 | 6.133 |
| 14 - 18 | -29.029 | -8.387 | 39.868 |
| 18 - 14 | -56.371 | -8.387 | 21.514 |
| 15 - 19 | -29.032 | 9.587 | 39.860 |
| 19 - 15 | -36.367 | 8.587 | 21.522 |
| 16 - 20 | -16.589 | 8.083 | -5.062 |
| 20 - 16 | -14.111 | 8.083 | 6.133 |
| 10 - 14 | -41.880 | 0.000 | 34.780 |
| 14 - 10 | -41.880 | 0.000 | 34.780 |
| 11 - 15 | -41.880 | 0.000 | 34.780 |
| 15 - 11 | -41.880 | 0.000 | 34.780 |
| 5 - 9 | -14.111 | 8.083 | 6.133 |
| 9 - 5 | -16.589 | 8.083 | -5.062 |
| 5 - 10 | -36.366 | 8.587 | 21.522 |
| 10 - 5 | -29.032 | 9.587 | 39.862 |

| | | | |
|--------|---------|---------|----------|
| 7 - 11 | -36.370 | -6.387 | 21.517 |
| 11 - 7 | -29.039 | -6.387 | 39.865 |
| 8 - 12 | -14.111 | -8.063 | 6.133 |
| 12 - 8 | -18.589 | -8.063 | -5.062 |
| 1 - 5 | -40.086 | 16.407 | -123.793 |
| 5 - 1 | 7.386 | 16.407 | -5.114 |
| 2 - 6 | -27.134 | 12.464 | -21.163 |
| 6 - 2 | -5.566 | 12.464 | 32.738 |
| 3 - 7 | -27.132 | -12.464 | -21.156 |
| 7 - 3 | -5.568 | -12.464 | 32.753 |
| 4 - 8 | -40.085 | -16.407 | -123.792 |
| 8 - 4 | 7.385 | -16.407 | -5.115 |

DIAGRAMA DE MOMENTO Y CORTANTE SIN CONSIDERAR LA

INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA

FIGURA VII - 15

EDIFICIO ASIMETRICO

BARRA BORDE LADO CORTO

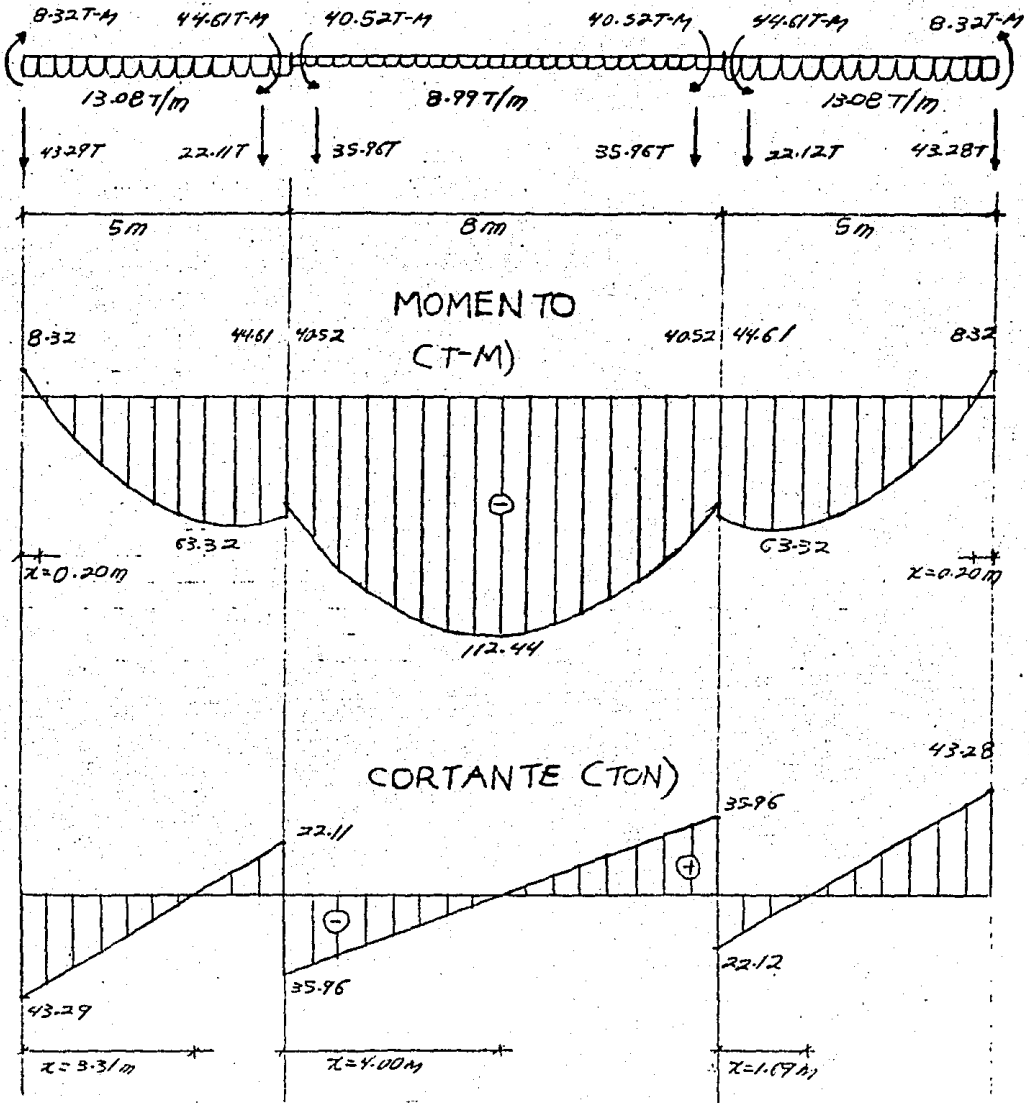


DIAGRAMA DE MOMENTO Y CORTANTE SIN CONSIDERAR LA INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA.
EDIFICIO ASIMETRICO BARRA BORDE LADO LARGO.

FIGURA VII - 16

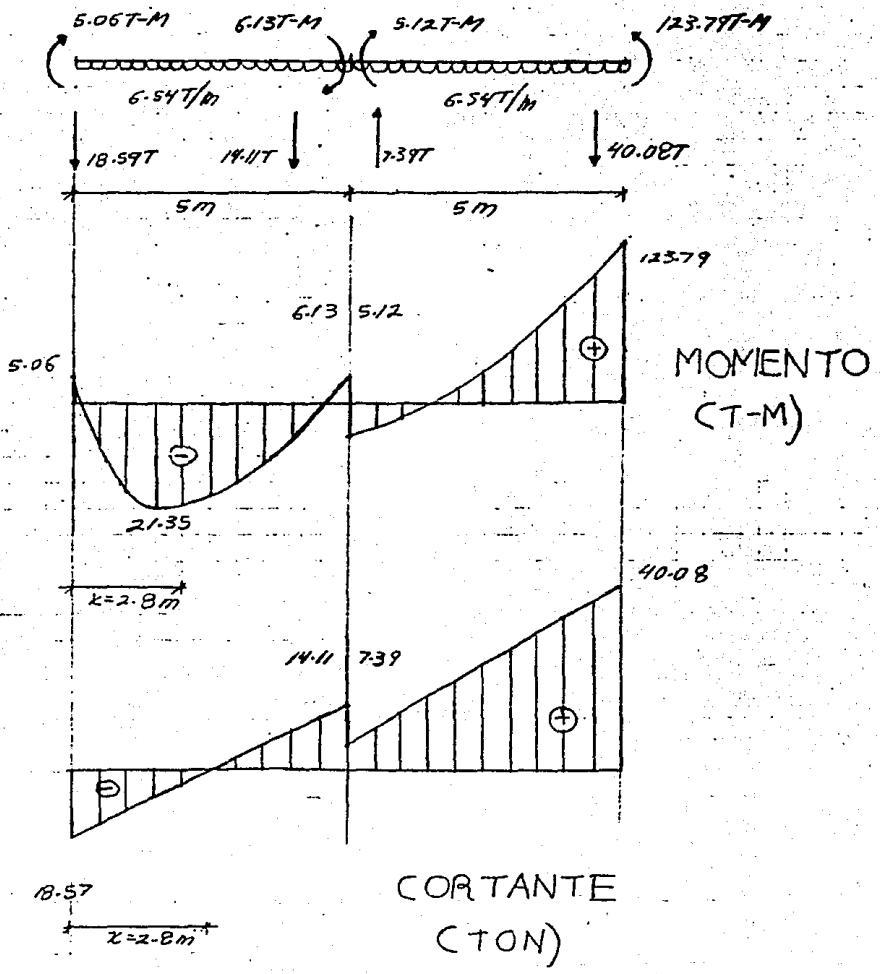


DIAGRAMA DE MOMENTO Y CORTANTE SIN CONSIDERAR LA INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA.
EDIFICIO ASIMETRICO BARRA CENTRAL LADO LARGO

FIGURA VII - 17

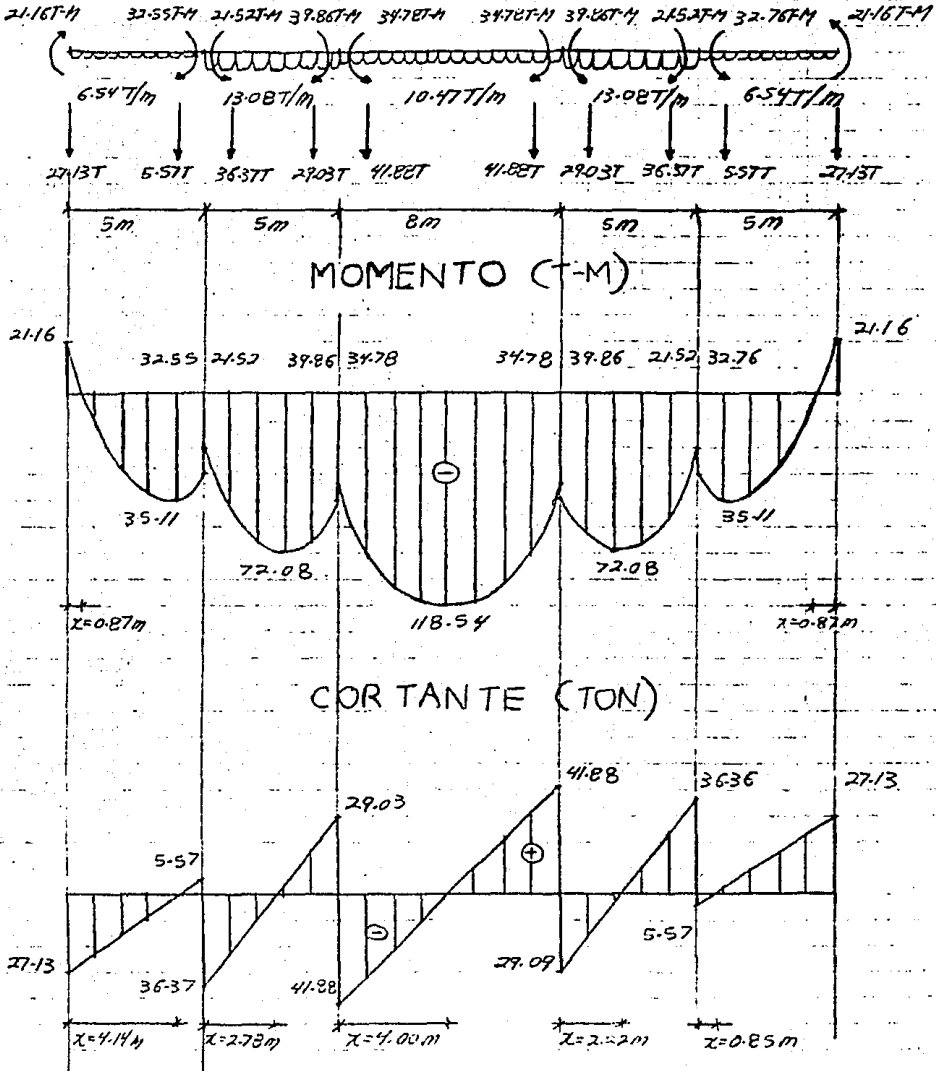
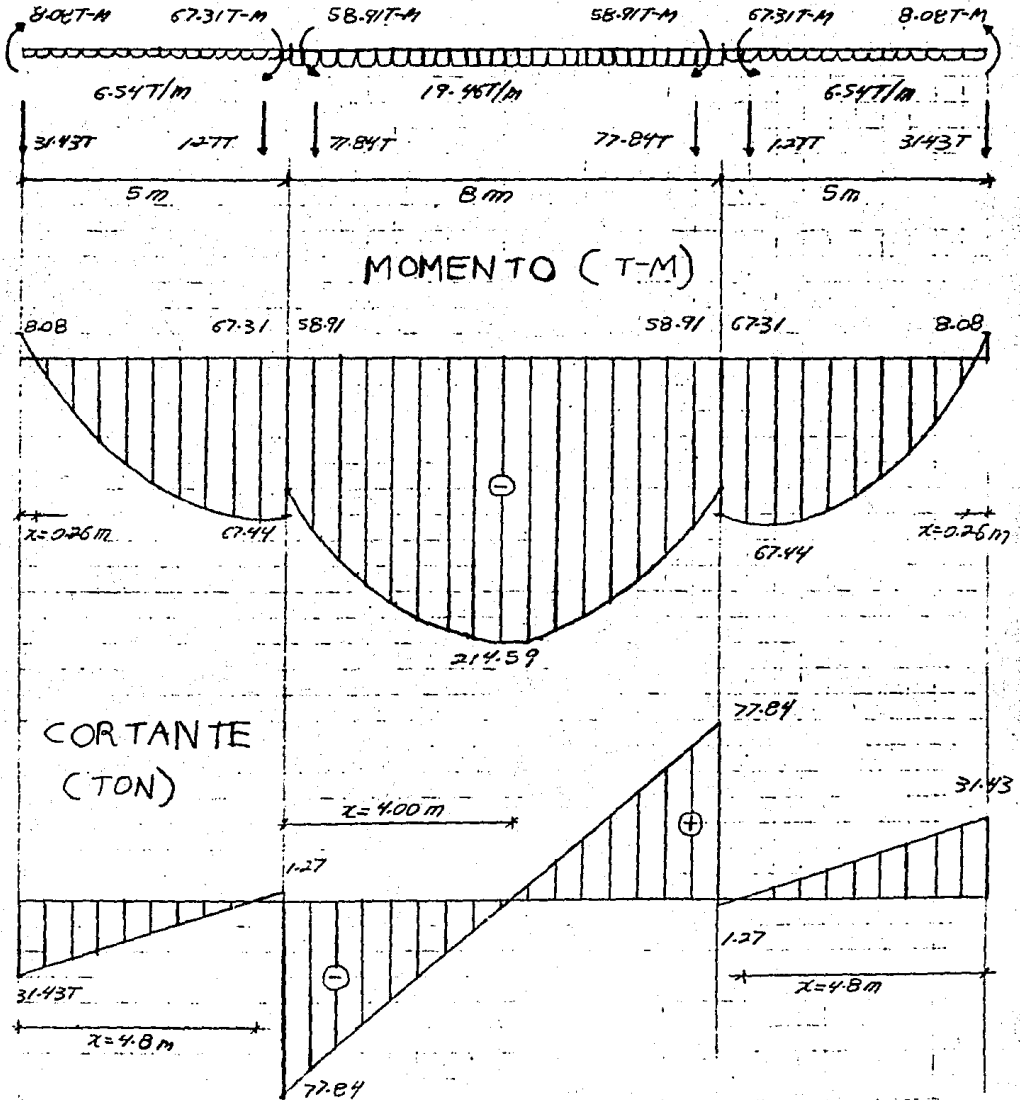


DIAGRAMA DE MOMENTO Y CORTANTE SIN CONSIDERAR LA INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA.

FIGURA VII - 18

EDIFICIO ASIMETRICO BARRA CENTRAL LADO CORTO



EJEMPLO 2: Cimentación compuesta por 24 barras y 16 nudos.

Bajo las mismas condiciones de desplante anteriores se pretende analizar otra cimentación.

La diferencia esencial radica en que esta cimentación es totalmente simétrica tanto en cargas externas como en dimensiones.

El esquema en planta de la estructura y de las condiciones de carga se aprecia en la fig. VII-19.

Se pretende determinar mediante la Interacción Suelo-Estructura, los hundimientos del suelo para cada nudo. Asimismo calcular la forma de la distribución y la magnitud de las reacciones el suelo en las contratrabes, y finalmente hallar los elementos mecánicos correspondientes de cada barra.

También se pide determinar este mismo análisis sin tomar en cuenta el efecto de la Interacción Suelo-Estructura.

Determinar en ambos casos los diagramas de momentos y cortantes.

SOLUCION:

- 1) La numeración de nudos y barras se aprecia en la fig. VII-19.
- 2) Las características de los materiales son iguales a las del primer ejemplo.

- 3) Las inercias y áreas también lo son.
- 4) En la figura VII-20 se lista el archivo de datos para el programa de Interacción Suelo-Estructura. La secuencia de impresión de datos es la misma del primer ejemplo.
- 5) En la figura VII-21 y VII-22 se aprecian los desplazamientos nodales y las reacciones del suelo por efecto de la Interacción Suelo-Estructura.
- 6) En la figura VII-23 se determina los elementos mecánicos en los extremos de las barras.
- 7) La figura VII-24 y VII-25 nos muestran los diagramas de momento y cortante al centro y borde de la cimentación.

Para la determinación de los elementos mecánicos en la cimentación bajo reacción uniforme del suelo, se tiene el siguiente proceso:

- 8) En la fig. VII-27 se determinan las áreas tributarias por barra en contacto con el suelo. En la fig. VII-28 se aprecia la reacción del suelo.

Primeramente se determinara el esfuerzo total que actua en la cimentación, determinando la suma de cargas externas, por un lado, y el área total de la cimentación en contacto con el suelo, por otro:

$$\begin{aligned} \text{SUMA DE CARGAS EXTERNAS} &= 1600 \text{ TON} \\ \text{AREA TOTAL CIMENTACION} &= 225 \text{ M}^2 \end{aligned}$$

El esfuerzo total actuante será, entonces:

$$f = 1600/225 = 7.111 \text{ T/M}^2$$

En seguida se distribuirá el esfuerzo anterior en cada una de

Las barras que forman la cimentación, para lo cual será necesario repartir la reacción del suelo en proporción a las áreas tributarias correspondientes de cada barra (fig. VII-27).

El área correspondiente a cada barra se multiplicará por el esfuerzo del suelo, obteniendo, de esta manera una carga total de barra. Para lograr entonces una uniformidad de carga bastará con dividir el valor de la carga total de la barra entre su longitud (fig. VII-28).

Así, por ejemplo para una barra central se tendrá un área total:

$$A = 12.50 \text{ m}^2$$

un peso total de: $(7.111 \text{ t/m}^2)(12.50 \text{ m}^2) = 88.889 \text{ ton.}$

y, finalmente una reacción uniforme del suelo igual a:

$$88.889 \text{ t} / 5\text{m} = 17.777 \text{ t/m}$$

Con las reacciones del suelo así obtenidas y las cargas externas de la estructura, se podrá analizar la cimentación como una parrilla empotrada en sus extremos.

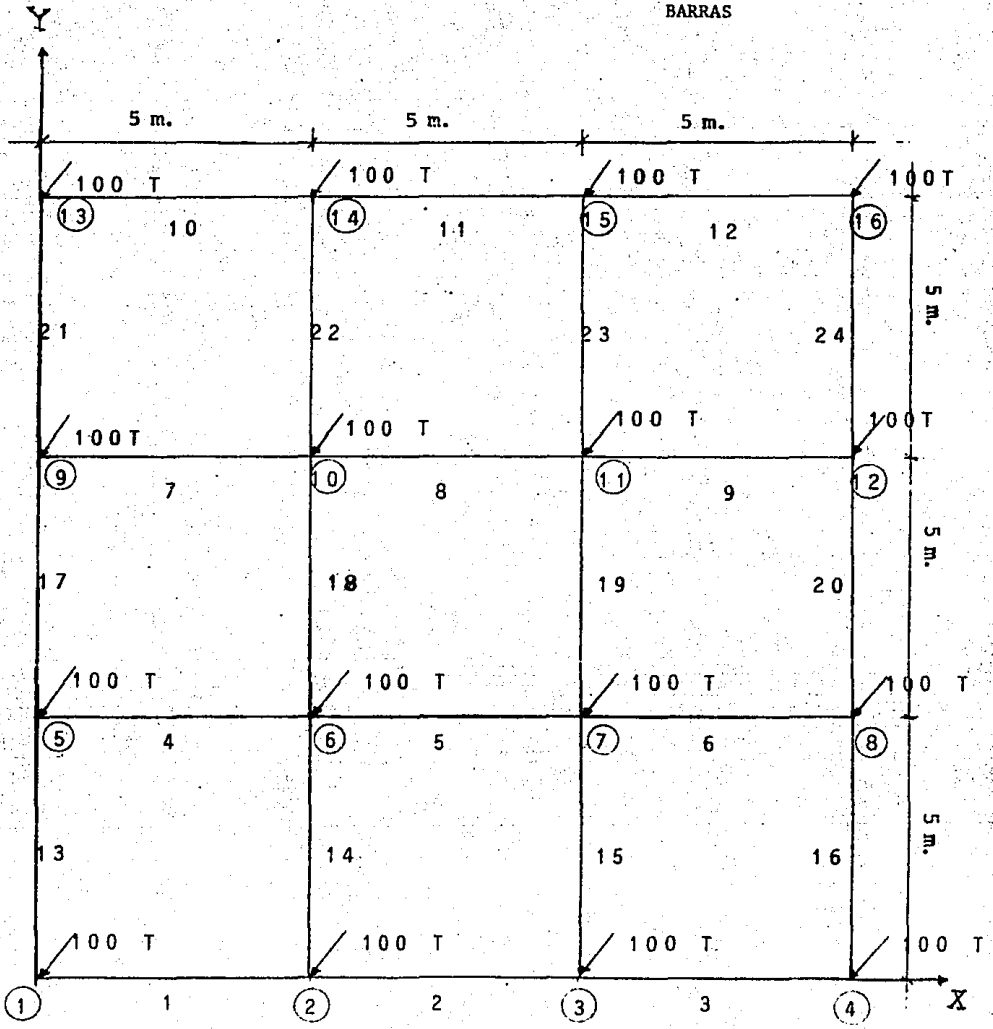
- 9) La fig. VII-26 es el listado del archivo de datos de entrada para el análisis de la cimentación bajo reacción uniforme.
- 10) Las figuras VII-29 y VII-30 son los resultados de este análisis.
- 11) Las figuras VII-31 y VII-32 son las deformaciones del suelo considerando la cimentación totalmente rígida y totalmente flexible, respectivamente.
- 12) Las figuras VII-33 y VII-34 son los diagramas de momento y cortante bajo reacción uniforme del suelo, al centro y borde de la cimentación.

FIGURA VII-19

CIMENTACION EN ESTUDIO.



NUMERACION DE NUDOS Y BARRAS



EJEMP2 T-00004 IS ON CR0002I USING 00005 BLKS R-0000

```

0001 INTERACCION SEL0-ESTRUCTURA
0002 NUMERO NUDO0
0003 16
0004 NUDO0,X(mts),Y(mts),Fz(ton),Mz(ton-m),My(ton-m)
0005 1,0,0,-100,0,0
0006 2,5,0,-100,0,00
0007 3,10,0,-100,0,0
0008 4,15,0,-100,0,00
0009 5,0,5,-100,0,0
0010 6,5,5,-100,0,0
0011 7,10,5,-100,0,0
0012 8,15,5,-100,0,0
0013 9,0,10,-100,0,0
0014 10,5,10,-100,0,0
0015 11,10,10,-100,0,0
0016 12,15,10,-100,0,0
0017 13,0,15,-100,0,0
0018 14,5,15,-100,0,0
0019 15,10,15,-100,0,0
0020 16,15,15,-100,0,0
0021 NO. ELEM. TIPO:
0022 1
0023 TIPO E(t/m2),I(m4),G(t/m2),J(m4)
0024 1,1561000,0.140825,869915.25,0.048875
0025 NO.BARRRAS TOTALES
0026 24
0027 BARRA,I,J,TIPO,CARGA UNIFORME(t/m):
0028 1,1,2,1,0
0029 2,2,3,1,0
0030 3,3,4,1,0
0031 4,5,6,1,0
0032 5,6,7,1,0
0033 6,7,8,1,0
0034 7,9,10,1,0
0035 8,10,11,1,0
0036 9,11,12,1,0
0037 10,13,14,1,0
0038 11,14,15,1,0
0039 12,15,16,1,0
0040 13,1,5,1,0
0041 14,2,6,1,0
0042 15,3,7,1,0
0043 16,4,8,1,0
0044 17,5,9,1,0
0045 18,6,10,1,0
0046 19,7,11,1,0
0047 20,8,12,1,0
0048 21,9,13,1,0
0049 22,10,14,1,0
0050 23,11,15,1,0
0051 24,12,16,1,0
0052 NO. ESTRATOS
0053 3
0054 ESTRATO,ESPESOR(mts),MU(CHZ/TON)
0055 1,3.5,0.9154
0056 2,3.2,0.0222
0057 3,3.3,0.0341
0058 FIN DE DATOS

```

FIGURA VII - 20

INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA EN CIMENTACIONES SUPERFICIALES

REALIZACION : IVAN SANTACRUZ CHAVANDO

DATOS GENERALES DE ANALISIS :

NUDOS TOTALES DE LA CIMENTACION : 16

COORDENADAS GLOBALES Y CARGAS NODALES

| NUDO | X(mts) | Y(mts) | Fz(ton) | Mx(ton) | My(ton) |
|------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1 | 0.00 | 0.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 5.00 | 0.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 10.00 | 0.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 15.00 | 0.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | 0.00 | 5.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 5.00 | 5.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | 10.00 | 5.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | 15.00 | 5.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | 0.00 | 10.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 5.00 | 10.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 11 | 10.00 | 10.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 12 | 15.00 | 10.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 13 | 0.00 | 15.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 14 | 5.00 | 15.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 15 | 10.00 | 15.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |
| 16 | 15.00 | 15.00 | -100.0 | 0.00 | 0.00 |

NUMERO DE ELEMENTOS TIPO : 1

| TIPO | E (1/m ²) | L (m ⁴) | G (1/m ²) | J (m ⁴) |
|------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| 1 | 1001000.00 | .140625 | 669910.20 | .046875 |

NUMERO DE BARRAS TOTALES : 24

| BARRA | NUDO I | NUDO J | TIPO | CARGA UNIFORME (1/m) |
|-------|--------|--------|------|----------------------|
| 1 | 1 | 2 | 1 | 0.00 |
| 2 | 2 | 3 | 1 | 0.00 |
| 3 | 3 | 4 | 1 | 0.00 |
| 4 | 5 | 6 | 1 | 0.00 |
| 5 | 6 | 7 | 1 | 0.00 |
| 6 | 7 | 8 | 1 | 0.00 |
| 7 | 9 | 10 | 1 | 0.00 |
| 8 | 10 | 11 | 1 | 0.00 |
| 9 | 11 | 12 | 1 | 0.00 |
| 10 | 13 | 14 | 1 | 0.00 |
| 11 | 14 | 15 | 1 | 0.00 |
| 12 | 15 | 16 | 1 | 0.00 |
| 13 | 1 | 5 | 1 | 0.00 |
| 14 | 2 | 6 | 1 | 0.00 |
| 15 | 3 | 7 | 1 | 0.00 |
| 16 | 4 | 8 | 1 | 0.00 |
| 17 | 5 | 9 | 1 | 0.00 |
| 18 | 6 | 10 | 1 | 0.00 |
| 19 | 7 | 11 | 1 | 0.00 |

(116)

| | | | | |
|----|----|----|---|------|
| 20 | 8 | 12 | 1 | 0.00 |
| 21 | 9 | 13 | 1 | 0.00 |
| 22 | 10 | 14 | 1 | 0.00 |
| 23 | 11 | 15 | 1 | 0.00 |
| 24 | 12 | 16 | 1 | 0.00 |

NUMEROS DE ESTRATOS DEL SUELO : 3

| ESTRATO | ESPEJOR (mts) | COEF. DE VAR. VOL. (m ² /ton) |
|---------|---------------|--|
| 1 | 3.50000 | .015400 |
| 2 | 3.20000 | .022300 |
| 3 | 3.30000 | .054100 |

F I N D E D A T O S

MOVIMIENTOS EN LOS NODOS ----

| NODO | VERTICAL (MTS) | GIRO X (GRAD) | GIRO Y (GRAD) |
|------|----------------|---------------|---------------|
| 1 | -.902 | .001 | -.001 |
| 2 | -.901 | -.000 | -.000 |
| 3 | -.901 | -.000 | .000 |
| 4 | -.902 | .001 | .001 |
| 5 | -.901 | .000 | .000 |
| 6 | -.902 | -.000 | .000 |
| 7 | -.902 | -.000 | -.000 |
| 8 | -.901 | .000 | -.000 |
| 9 | -.901 | -.000 | .000 |
| 10 | -.902 | .000 | .000 |
| 11 | -.902 | .000 | -.000 |
| 12 | -.901 | -.000 | -.000 |
| 13 | -.902 | -.001 | -.001 |
| 14 | -.901 | .000 | -.000 |
| 15 | -.901 | .000 | .000 |
| 16 | -.902 | -.001 | .001 |

FIGURA VII - 21

DESPLAZAMIENTOS NODALES EN COORDENADAS
GLOBALES DEBIDO A LA INTERACCION SUELO-
ESTRUCTURA.

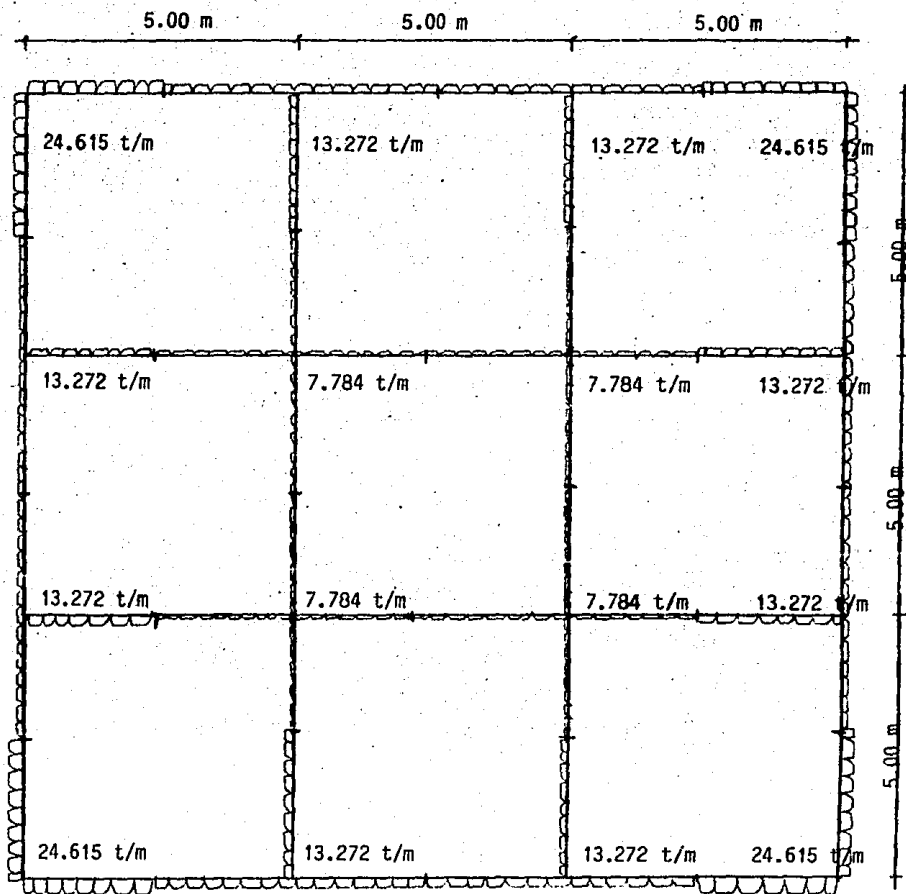
| | | | |
|---|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | | | |
| -0.902 -0.001 -0.001 | -0.901 0.000 0.000 | -0.901 0.000 0.000 | -0.902 -0.001 0.001 |
| * vertical (m) ** giro X (rad) *** giro Y (rad) | | | |
| -0.901 0.000 0.000 | -0.902 * 0.000 ** 0.000 *** | -0.902 0.000 0.000 | -0.901 0.000 0.000 |
| -0.901 0.000 0.000 | -0.902 0.000 0.000 | -0.902 0.000 0.000 | -0.901 0.000 0.000 |
| -0.902 0.001 -0.001 | -0.901 0.000 0.000 | -0.901 0.000 0.000 | -0.902 0.0010 0.001 |

REACCIONES POR NODO (MITAD BARRA)

| NODO | REACCION (T/H) |
|------|----------------|
| 1 | 24.615 |
| 2 | 13.272 |
| 3 | 13.272 |
| 4 | 24.615 |
| 5 | 13.272 |
| 6 | 7.784 |
| 7 | 7.784 |
| 8 | 13.272 |
| 9 | 13.272 |
| 10 | 7.784 |
| 11 | 7.784 |
| 12 | 13.272 |
| 13 | 24.615 |
| 14 | 13.272 |
| 15 | 13.272 |
| 16 | 24.615 |

FIGURA VII - 22

REACCIONES DEL SUELO POR
INTERACCION SUELO - ESTRUCTURA.



ELEMENTOS MECANICOS EN COORDENADAS LOCALES POR INTERACCION S.E.

| BARRA | CORTANTE (ton) | TORSION (t-m) | FLEXION (t-m) |
|---------|----------------|---------------|---------------|
| 1 - 2 | -50.903 | | |
| 2 - 1 | -44.715 | -3.772 | -3.779 |
| 2 - 3 | -33.182 | -3.772 | -26.006 |
| 3 - 2 | -33.179 | -0.001 | -27.245 |
| 3 - 4 | -44.716 | -0.001 | -27.239 |
| 4 - 3 | -49.759 | 3.772 | -26.014 |
| 5 - 6 | -22.100 | 3.772 | -3.770 |
| 6 - 5 | -50.036 | -1.232 | 3.762 |
| 6 - 7 | -19.460 | -1.232 | -34.460 |
| 7 - 6 | -49.991 | -0.000 | -33.241 |
| 7 - 8 | -50.036 | -0.000 | -33.240 |
| 8 - 7 | -22.100 | 1.231 | -34.471 |
| 9 - 10 | -22.100 | 1.231 | 3.767 |
| 10 - 9 | -50.041 | 1.231 | 3.775 |
| 10 - 11 | -19.460 | 1.231 | -34.476 |
| 11 - 10 | -19.461 | -0.000 | -33.243 |
| 11 - 12 | -50.041 | -0.000 | -33.244 |
| 12 - 11 | -22.100 | -1.231 | -34.478 |
| 13 - 14 | -50.000 | -1.231 | 3.774 |
| 14 - 13 | -44.717 | 3.772 | -3.773 |
| 14 - 15 | -33.183 | 3.772 | -26.012 |
| 15 - 14 | -33.179 | -0.000 | -27.250 |
| 15 - 16 | -44.723 | -0.000 | -27.241 |
| 16 - 15 | -49.990 | -3.772 | -26.026 |
| 1 - 5 | -49.999 | -3.772 | -3.762 |
| 5 - 1 | -44.719 | 3.773 | -3.771 |
| | | 3.773 | -26.016 |

(122)

| | | | |
|---------|---------|--------|---------|
| 2 - 6 | -22.100 | 1.252 | 3.775 |
| 6 - 2 | -30.541 | 1.252 | -34.476 |
| 3 - 7 | -22.102 | -1.251 | 3.766 |
| 7 - 3 | -30.539 | -1.251 | -34.474 |
| 4 - 8 | -49.996 | -3.772 | -3.767 |
| 8 - 4 | -44.720 | -3.772 | -26.018 |
| 5 - 9 | -33.102 | .000 | -27.246 |
| 9 - 5 | -33.180 | .000 | -27.241 |
| 6 - 10 | -19.459 | .000 | -33.238 |
| 10 - 6 | -19.462 | .000 | -33.247 |
| 7 - 11 | -19.468 | .000 | -33.241 |
| 11 - 7 | -19.461 | .000 | -33.243 |
| 8 - 12 | -33.181 | .000 | -27.246 |
| 12 - 8 | -33.180 | .000 | -27.241 |
| 9 - 13 | -44.715 | -3.772 | -26.004 |
| 13 - 9 | -50.003 | -3.772 | -3.778 |
| 10 - 14 | -30.539 | -1.251 | -34.469 |
| 14 - 10 | -22.103 | -1.251 | 3.771 |
| 11 - 15 | -30.540 | 1.251 | -34.473 |
| 15 - 11 | -22.101 | 1.251 | 3.772 |
| 12 - 16 | -44.720 | 3.772 | -26.020 |
| 16 - 12 | -49.995 | 3.772 | -3.766 |

FIGURA VII - 23

ELEMENTOS MECANICOS POR BARRA
EN COORDENADAS LOCALES POR INTERACCION
SUELO - ESTRUCTURA.

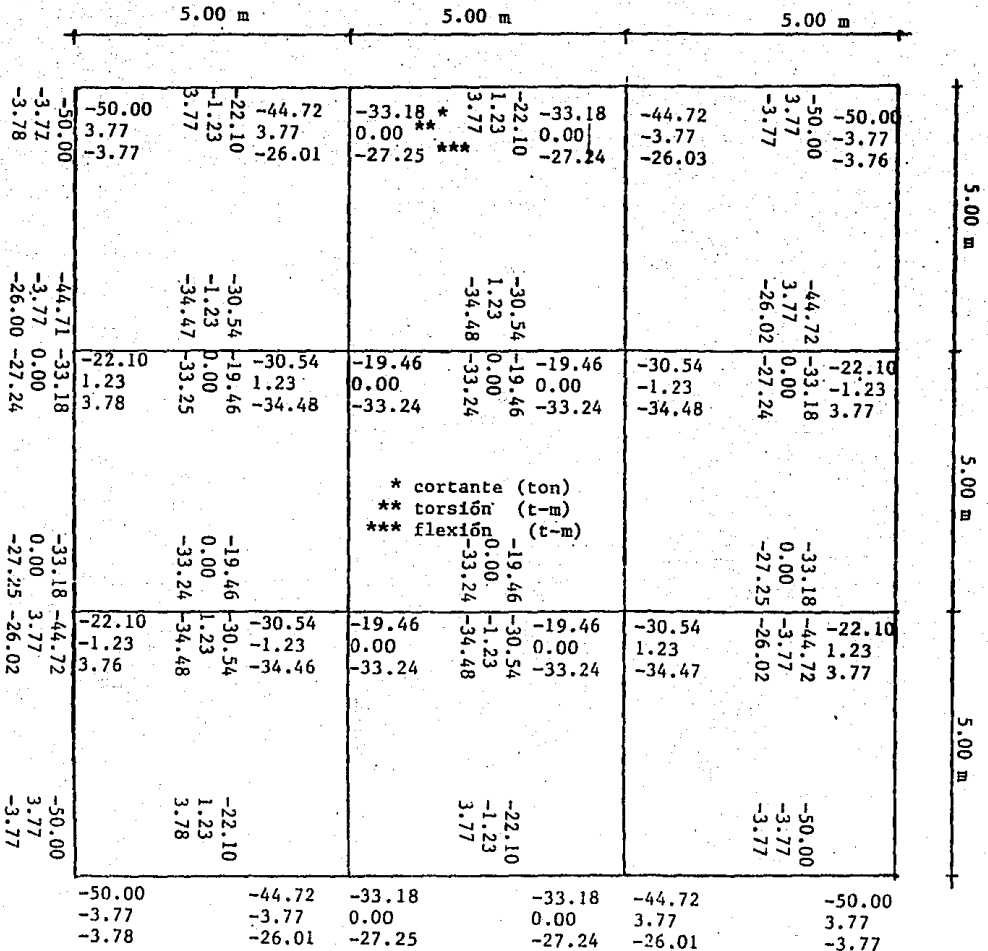


DIAGRAMA DE MOMENTO Y CORTANTE TOMANDO EN CUENTA LA
INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA
EDIFICIO SIMETRICO BARRA CENTRAL

FIGURA VII - 24

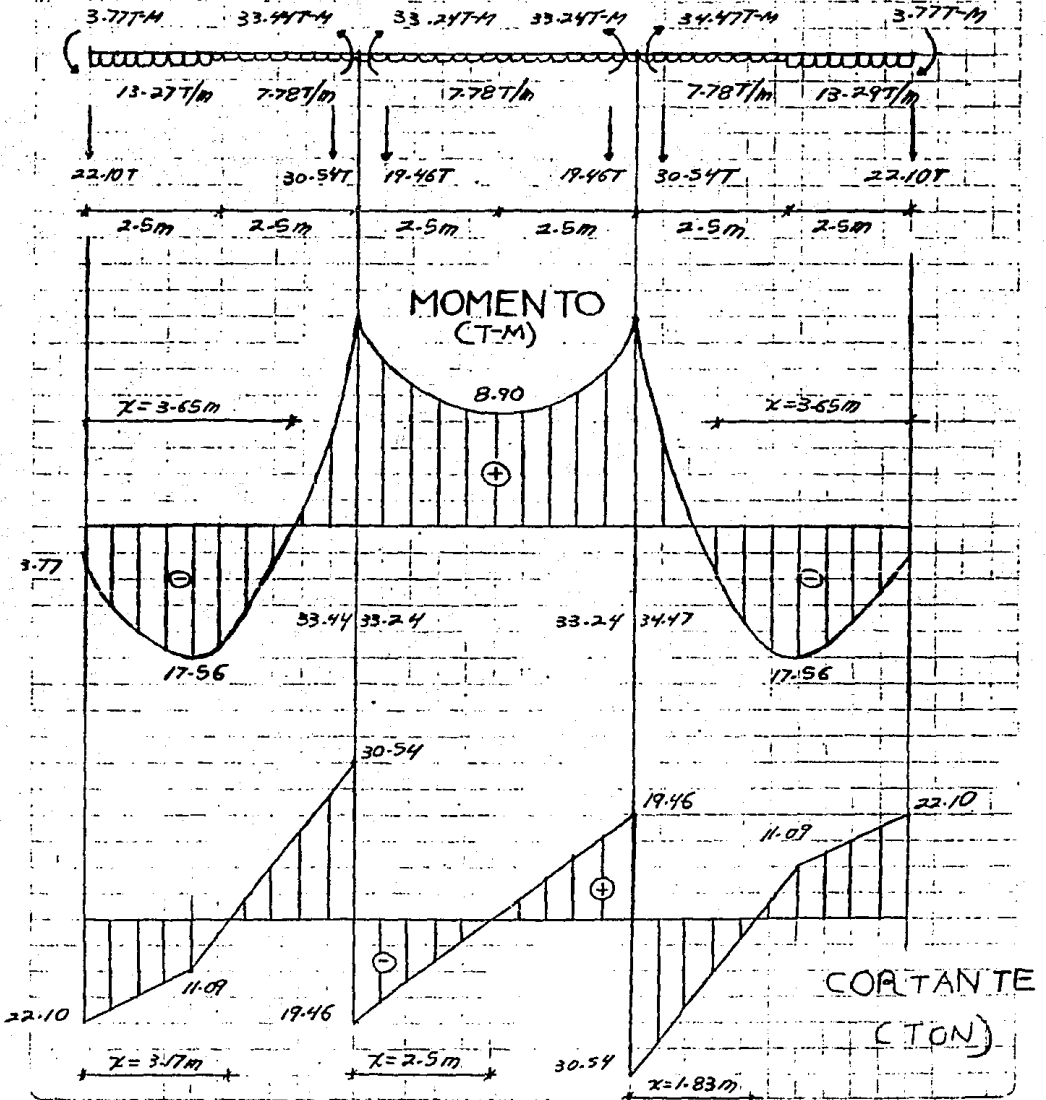
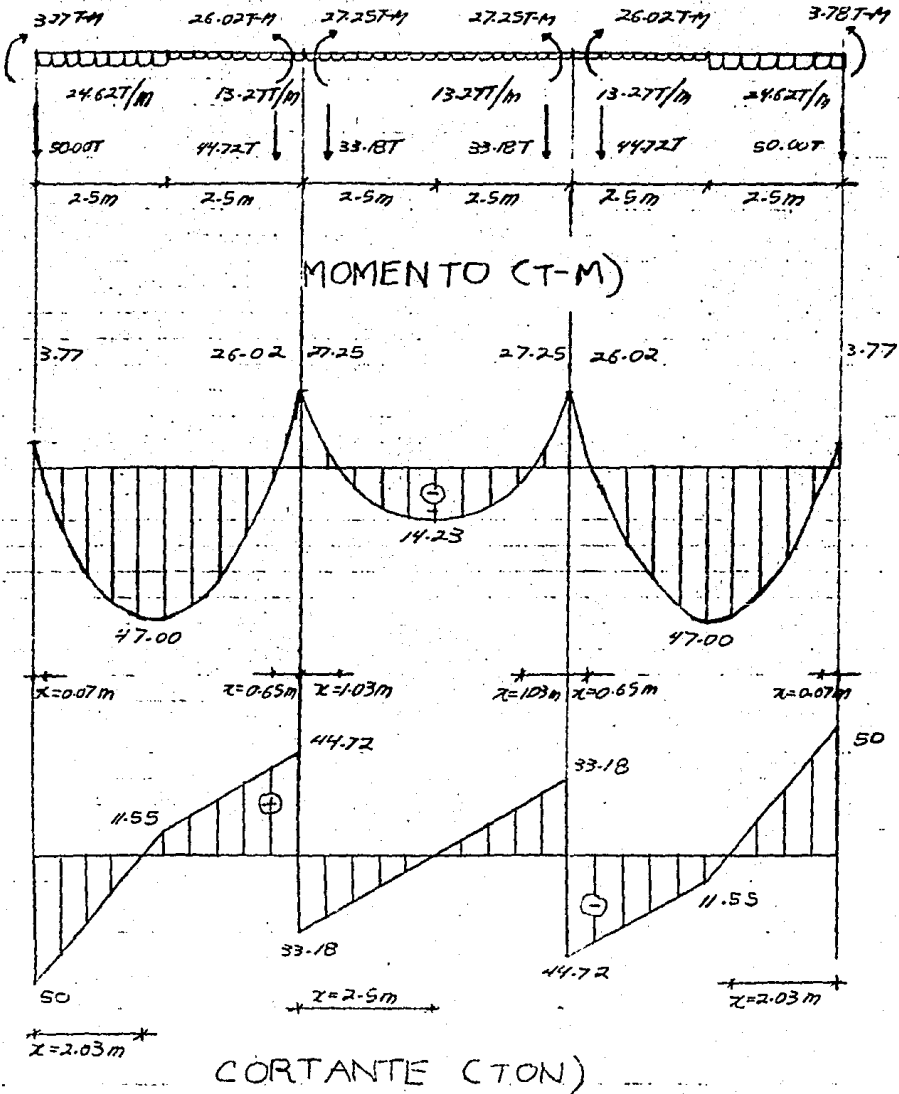


DIAGRAMA DE MOMENTO Y CORTANTE TOMANDO EN CUENTA LA
INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA
EDIFICIO SIMETRICO

FIGURA VII - 25

BARRA DE BORDE.



PARR T-00004 IS ON CROSSO USING 00005 BLKS R-0000

0001 ANALISIS DE PARRILLAS
 0002 EDIFICIO DE INVESTIGACION
 0003 NUMERO DE NUDOS:
 0004 12
 0005 NUDO, X(mts), Y(mts), Fz (ton), Hx (t-m), Hy (t-m)

0006 1,0,0,1,1,1,-100,0,0
 0007 2,3,0,0,0,0,-100,0,0
 0008 3,10,0,0,0,0,-100,0,0
 0009 4,15,0,1,1,1,-100,0,0
 0010 5,0,5,0,0,0,-100,0,0
 0011 6,5,5,0,0,0,-100,0,0
 0012 7,10,5,0,0,0,-100,0,0
 0013 8,15,5,0,0,0,-100,0,0
 0014 9,0,10,0,0,0,-100,0,0
 0015 10,5,10,0,0,0,-100,0,0
 0016 11,10,10,0,0,0,-100,0,0
 0017 12,15,10,0,0,0,-100,0,0
 0018 13,0,15,1,1,1,-100,0,0
 0019 14,5,15,0,0,0,-100,0,0
 0020 15,10,15,0,0,0,-100,0,0
 0021 16,15,15,1,1,1,-100,0,0

FIGURA VII - 26

0022 NO. ELEM. TIPO:
 0023 1
 0024 TIPO, E(t/m²), I(m⁴), b(t/m²), J(m⁴)
 0025 1,1521000,0.140020,265715.22,0.046875
 0026 NO. BARRAS TOTALES:

0027 24
 0028 BARRA, I, J, TIPO, CARGA UNIFORME(t/m):
 0029 1,1,2,1,5.888
 0030 2,2,3,1,5.888
 0031 3,3,4,1,5.888
 0032 4,3,6,1,17.777
 0033 5,3,7,1,17.777
 0034 6,7,8,1,17.777
 0035 7,9,10,1,17.777
 0036 8,10,11,1,17.777
 0037 9,11,12,1,17.777
 0038 10,13,14,1,5.888
 0039 11,13,15,1,5.888
 0040 12,15,16,1,5.888
 0041 13,1,5,1,5.888
 0042 14,2,6,1,17.777
 0043 15,3,7,1,17.777
 0044 16,4,8,1,5.888
 0045 17,5,9,1,5.888
 0046 18,6,10,1,17.777
 0047 19,7,11,1,17.777
 0048 20,8,12,1,5.888
 0049 21,9,13,1,5.888
 0050 22,10,14,1,17.777
 0051 23,11,15,1,17.777
 0052 24,12,16,1,5.888
 0053 FIN DE DATOS

FIGURA VII- 27

AREAS TRIBUTAREAS
PARA REACCION DE CONTACTO CON EL
SUELO.

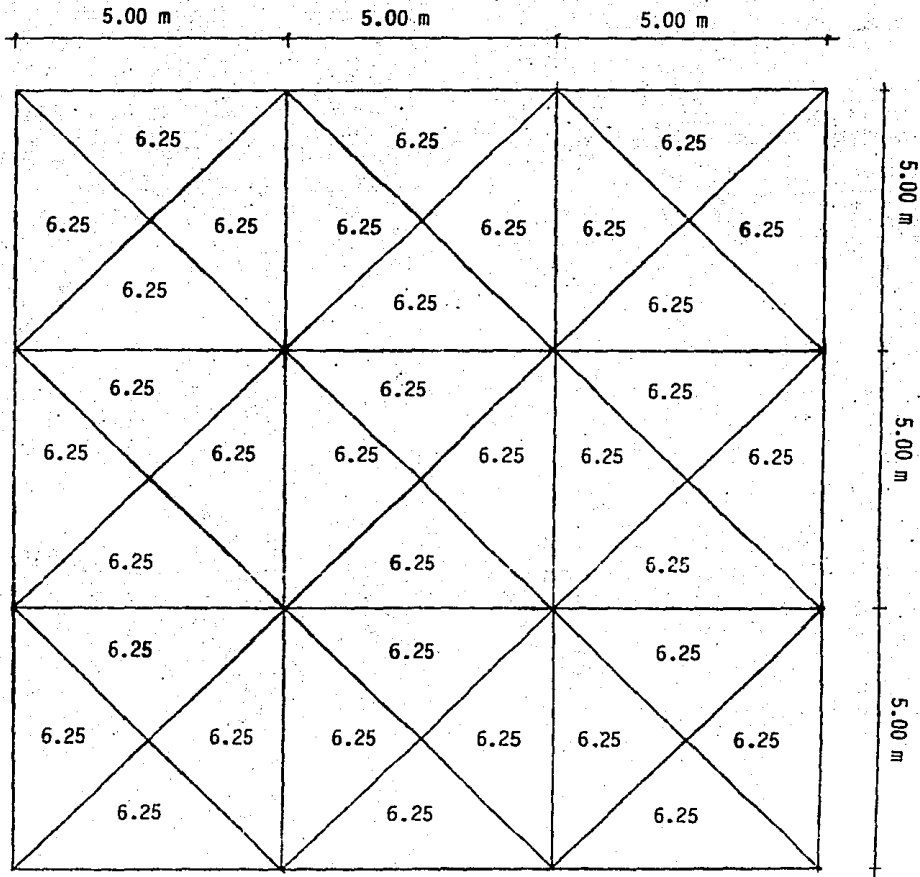
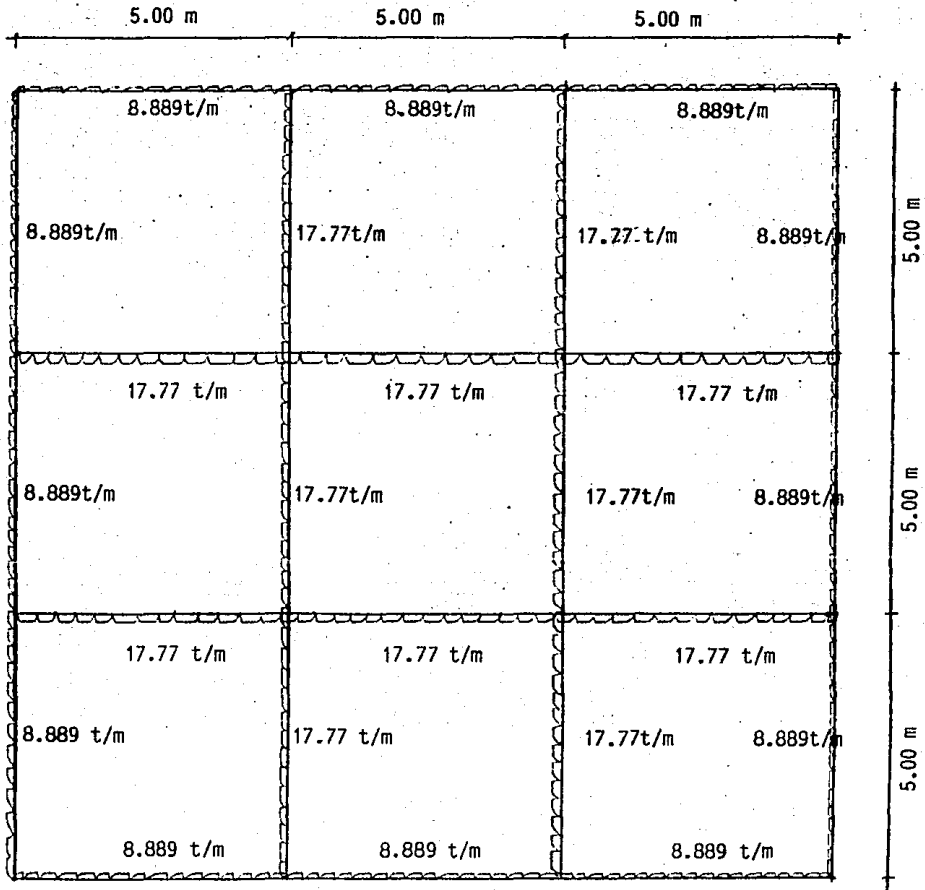


FIGURA VII-28

RECCIONES UNIFORMES DEL SUELO.



ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PARRILLAS

PROYECTO : EDIFICIO DE INVESTIGACION

PROPIEDADES DE LAS BARRAS

| NODO I | NODO J | EIT(M2) | I(M4) | G(1/62) | J(M4) | LONG(MTS) |
|--------|--------|------------|---------|------------|---------|-----------|
| 1 | 2 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 2 | 3 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 3 | 4 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 5 | 6 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 6 | 7 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 7 | 8 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 9 | 10 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 10 | 11 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 11 | 12 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 13 | 14 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 14 | 15 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 15 | 16 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 1 | 5 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 2 | 6 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 3 | 7 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 4 | 8 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 5 | 9 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 6 | 10 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |

| | | | | | | |
|----|----|------------|---------|------------|---------|-------|
| 7 | 11 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 8 | 12 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 9 | 13 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 10 | 14 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 11 | 15 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |
| 12 | 16 | 1581000.00 | .140625 | 669915.250 | .046875 | 5.000 |

CARACTERISTICAS DE LOS HUDOS

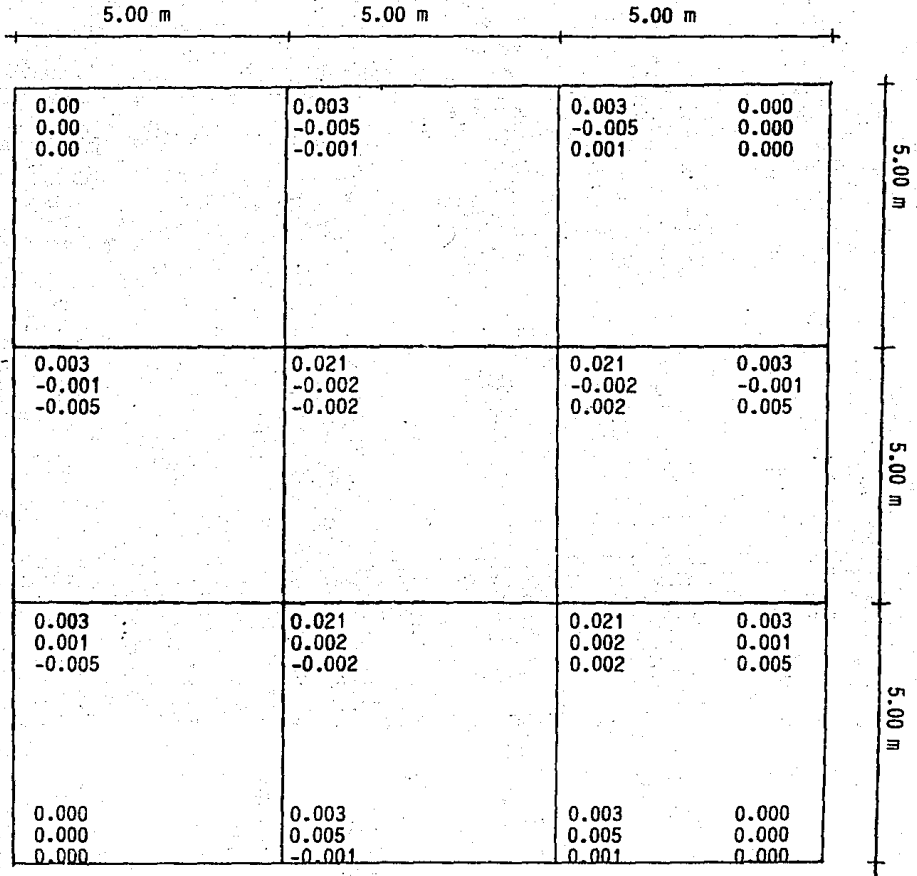
| HUDO | X(HTS) | Y(HTS) | D2 | GX | GY | FZ(TON) | HX(T-H) | HY(T-H) |
|------|--------|--------|----|----|----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.000 | 0.000 | 1 | 1 | 1 | -55.56 | 18.517 | -18.517 |
| 2 | 5.000 | 0.000 | 0 | 0 | 0 | -11.12 | 37.035 | 0.000 |
| 3 | 10.000 | 0.000 | 0 | 0 | 0 | -11.12 | 37.035 | 0.000 |
| 4 | 15.000 | 0.000 | 1 | 1 | 1 | -55.56 | 18.517 | 18.517 |
| 5 | 0.000 | 5.000 | 0 | 0 | 0 | -11.12 | 0.000 | -37.035 |
| 6 | 5.000 | 5.000 | 0 | 0 | 0 | 77.77 | 0.000 | 0.000 |
| 7 | 10.000 | 5.000 | 0 | 0 | 0 | 77.77 | 0.000 | 0.000 |
| 8 | 15.000 | 5.000 | 0 | 0 | 0 | -11.12 | 0.000 | 37.035 |
| 9 | 0.000 | 10.000 | 0 | 0 | 0 | -11.12 | 0.000 | -37.035 |
| 10 | 5.000 | 10.000 | 0 | 0 | 0 | 77.77 | 0.000 | 0.000 |
| 11 | 10.000 | 10.000 | 0 | 0 | 0 | 77.77 | 0.000 | 0.000 |
| 12 | 15.000 | 10.000 | 0 | 0 | 0 | -11.12 | 0.000 | 37.035 |
| 13 | 0.000 | 15.000 | 1 | 1 | 1 | -55.56 | -18.517 | -18.517 |
| 14 | 5.000 | 15.000 | 0 | 0 | 0 | -11.12 | -37.035 | 0.000 |
| 15 | 10.000 | 15.000 | 0 | 0 | 0 | -11.12 | -37.035 | 0.000 |
| 16 | 15.000 | 15.000 | 1 | 1 | 1 | -55.56 | -18.517 | 18.517 |

DESPLAZAMIENTOS MODALES GLOBALES

| MODO | VERTICAL (mts) | GIRO X (rad) | GIRO Y (rad) |
|------|----------------|--------------|--------------|
| 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2 | .005 | .005 | -.001 |
| 3 | .005 | .005 | .001 |
| 4 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5 | .005 | .001 | -.005 |
| 6 | .021 | .002 | -.002 |
| 7 | .021 | .002 | .002 |
| 8 | .005 | .001 | .005 |
| 9 | .003 | -.001 | -.005 |
| 10 | .021 | -.002 | -.002 |
| 11 | .021 | -.002 | .002 |
| 12 | .005 | -.001 | .005 |
| 13 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 14 | .003 | -.005 | -.001 |
| 15 | .003 | -.005 | .001 |
| 16 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

FIGURA VII - 29

DESPLAZAMIENTOS NODALES GLOBALES
POR REACCION UNIFORME DEL SUELO.



ELEMENTOS MECANICOS EN COORDENADAS LOCALES

| BARRA | CORTANTE (ton) | TORSION (t-m) | FLEXION (t-m) |
|---------|----------------|---------------|---------------|
| 1 - 2 | -49.900 | 28.554 | -114.304 |
| 2 - 1 | 5.526 | 28.554 | 24.428 |
| 2 - 3 | -22.220 | 0.000 | 34.325 |
| 3 - 2 | -22.220 | 0.000 | 34.326 |
| 3 - 4 | 5.527 | -28.554 | 24.428 |
| 4 - 3 | -49.967 | -28.554 | -114.304 |
| 5 - 6 | -85.320 | 9.896 | -28.549 |
| 6 - 5 | -5.566 | 9.896 | 165.857 |
| 6 - 7 | -44.444 | 0.000 | 155.941 |
| 7 - 6 | -44.443 | 0.000 | 155.944 |
| 7 - 8 | -5.566 | -9.896 | 165.855 |
| 8 - 7 | -85.320 | -9.896 | -28.548 |
| 9 - 10 | -85.320 | -9.896 | -28.548 |
| 10 - 9 | -5.566 | -9.896 | 165.855 |
| 10 - 11 | -44.443 | 0.000 | 155.943 |
| 11 - 10 | -44.443 | 0.000 | 155.943 |
| 11 - 12 | -5.566 | 9.896 | 165.855 |
| 12 - 11 | -85.320 | 9.896 | -28.548 |
| 13 - 14 | -49.966 | -28.554 | -114.304 |
| 14 - 13 | 5.526 | -28.554 | 24.428 |
| 14 - 15 | -22.220 | 0.000 | 34.325 |
| 15 - 14 | -22.220 | 0.000 | 34.325 |
| 15 - 16 | 5.526 | 28.554 | 24.426 |
| 16 - 15 | -49.966 | 28.554 | -114.304 |
| 1 - 5 | -49.966 | -28.554 | -114.304 |
| 5 - 1 | 5.526 | -28.554 | 24.428 |

| | | | |
|---------|---------|---------|----------|
| 2 - 6 | -85.328 | -9.896 | -28.549 |
| 6 - 2 | -5.566 | -9.896 | 165.857 |
| 3 - 7 | -85.328 | 9.896 | -28.548 |
| 7 - 3 | -5.566 | 9.896 | 165.856 |
| 4 - 8 | -49.966 | 28.554 | -114.304 |
| 8 - 4 | 5.526 | 28.554 | 24.428 |
| 5 - 9 | -22.220 | 0.000 | 34.325 |
| 9 - 5 | -22.220 | 0.000 | 34.325 |
| 6 - 10 | -44.444 | -0.000 | 155.941 |
| 10 - 6 | -44.443 | -0.000 | 155.941 |
| 7 - 11 | -44.444 | 0.000 | 155.941 |
| 11 - 7 | -44.443 | 0.000 | 155.944 |
| 8 - 12 | -22.220 | 0.000 | 34.325 |
| 12 - 8 | -22.220 | 0.000 | 34.325 |
| 9 - 13 | 5.526 | 28.554 | 24.428 |
| 13 - 9 | -49.966 | 28.554 | -114.304 |
| 10 - 14 | -5.566 | 9.896 | 165.855 |
| 14 - 10 | -85.328 | 9.896 | -28.548 |
| 11 - 15 | -5.566 | -9.896 | 165.855 |
| 15 - 11 | -85.328 | -9.896 | -28.548 |
| 12 - 16 | 5.526 | -28.554 | 24.428 |
| 16 - 12 | -49.966 | -28.554 | -114.304 |

CIMENTACION EN ESTUDIO

DEFORMACIONES DEL SUELO CONSIDERANDO
LA CIMENTACION 100% RIGIDA.

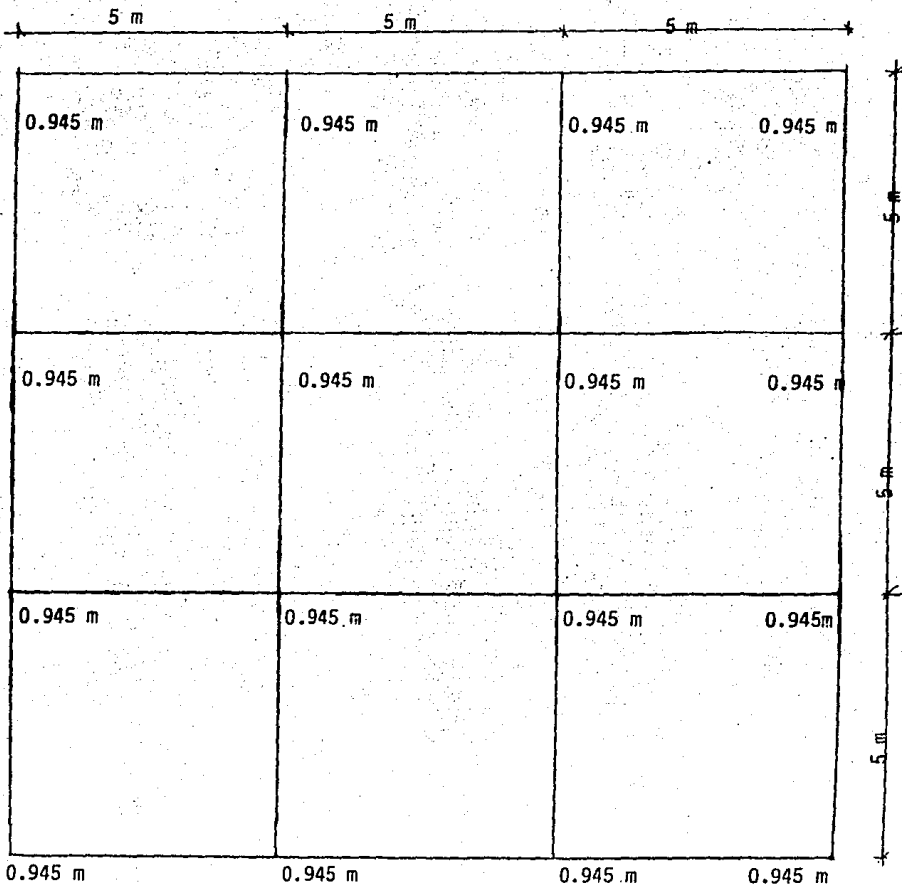


FIGURA VII - 32
CIMENTACION EN ESTUDIO

DEFORMACIONES DEL SUELO CONSIDERANDO
LA CIMENTACION 100% FLEXIBLE

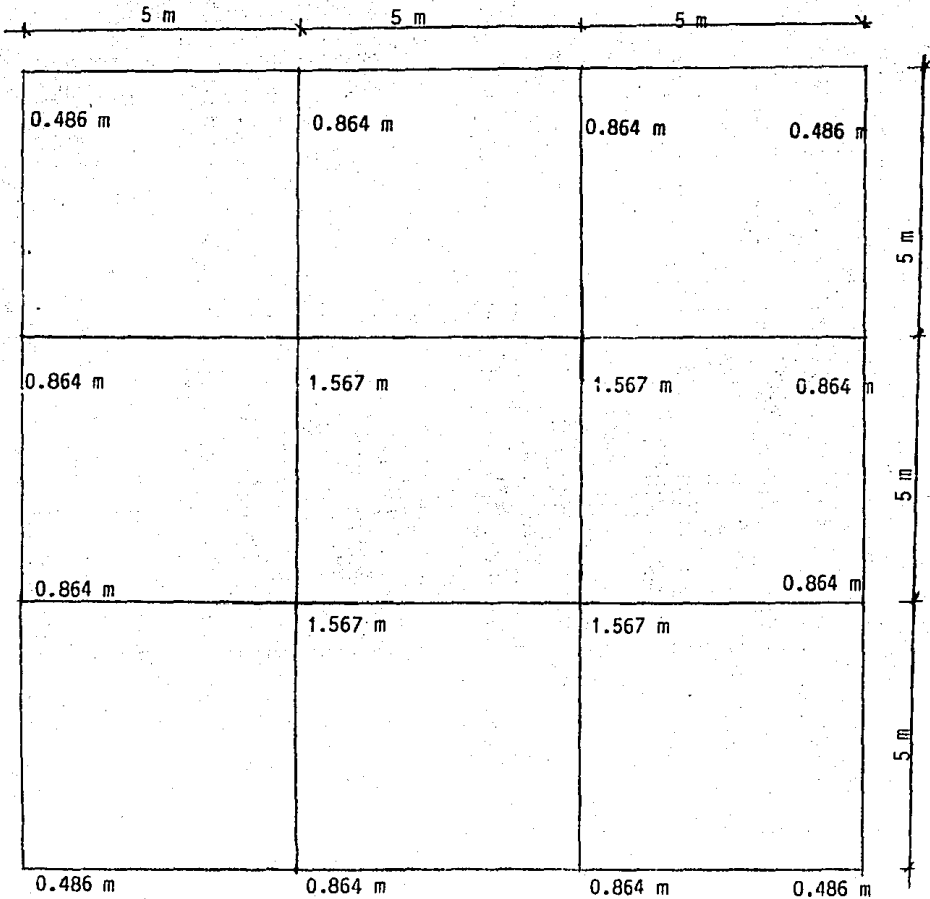


DIAGRAMA DE MOMENTO Y CORTANTE SIN CONSIDERAR LA
INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA
EDIFICIO SIMETRICO BARRA DE BORDE

FIGURA VII - 33

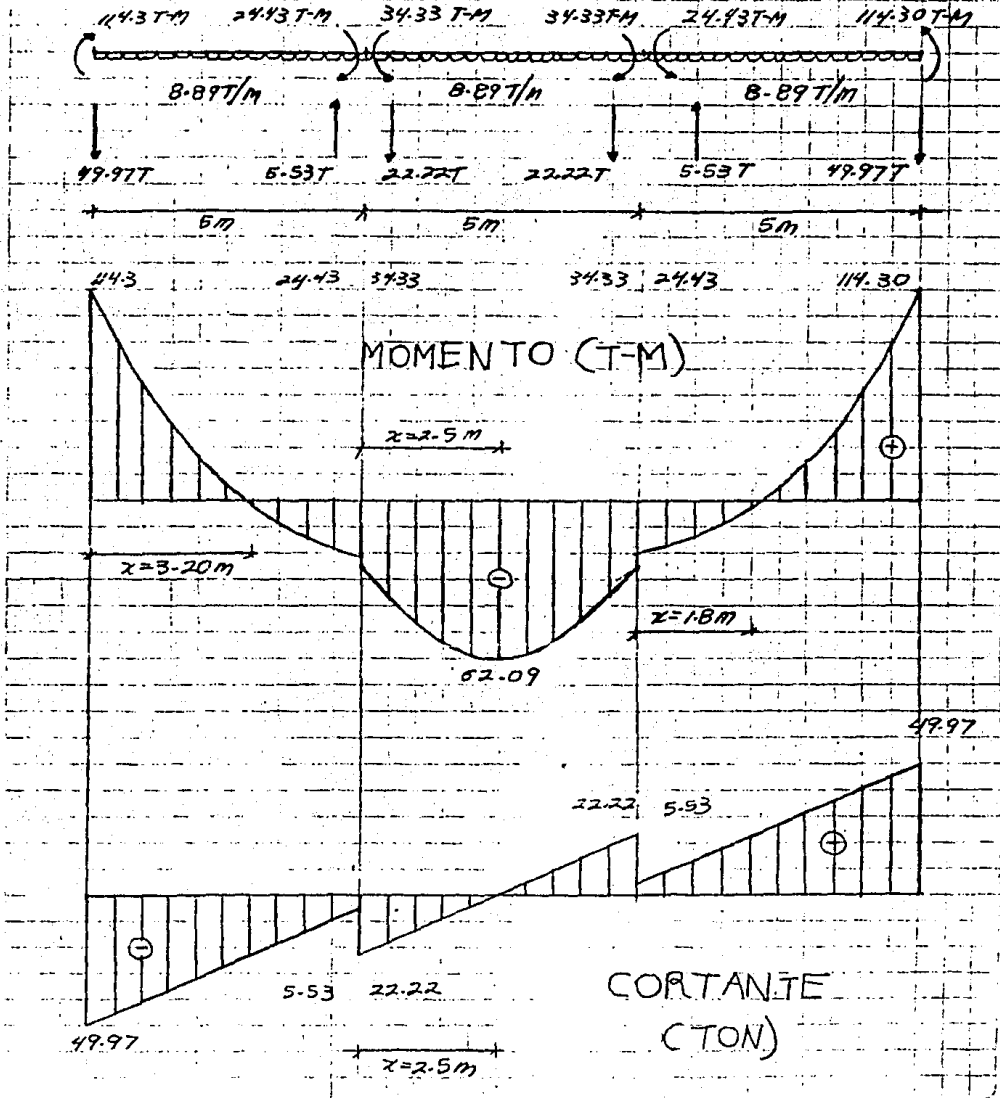
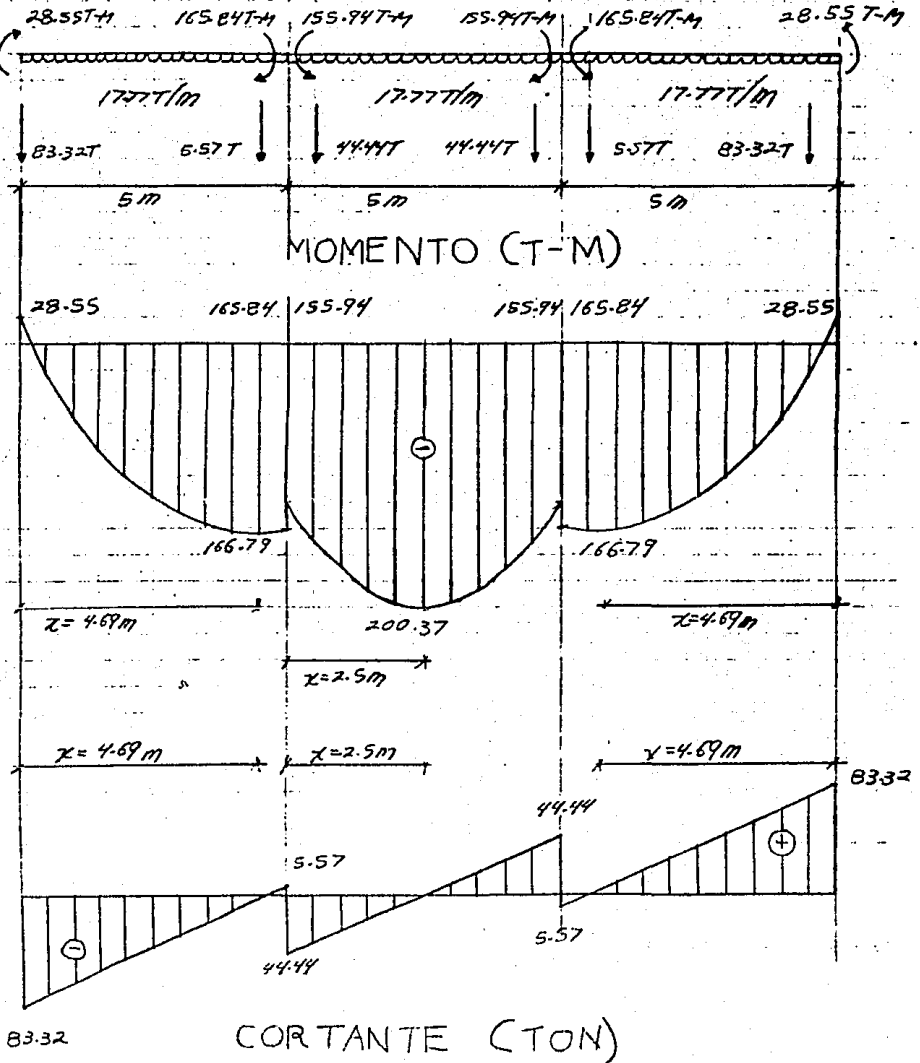


DIAGRAMA DE MOMENTO Y CORTANTE SIN TOMAR EN CUENTA LA
INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA

FIGURA VII - 34

EDIFICIO SIMETRICO BARRA CENTRAL



CONCLUSIONES

La cimentación de estructuras sigue siendo un problema particularmente importante desde hace tiempo, para el Ingeniero Civil.

Su problema fundamental no solamente es de carácter estructural; es necesario conocer su comportamiento en forma conjunta con el suelo.

El estudio llamado de "Interacción Suelo Estructura", ha sido investigado desde hace muchos años. Este método es extenso y no es fácil su aplicación para una resolución manual, ya que se requieren de operaciones repetitivas y constantes cambios de modelos teóricos. Es por ello necesario contar con programas de computadora para su resolución.

En este trabajo se pretendió resolver el problema de la Interacción Suelo-Estructura para el caso de cimentaciones superficiales a base de losa colada con contratrabes en terrenos compresibles, terminando con la resolución de un programa por computadora.

Se puede apreciar claramente la influencia de la Interacción Suelo-Estructura en los resultados de los ejercicios vistos:

Al analizar las contrarabes de la cimentación totalmente simétrica en cargas y dimensiones de manera tradicional (es decir, considerando una reacción uniforme del suelo); se observa que, por distribución de cargas en las losas de cimentación, a las contrarabes centrales les corresponde una misma reacción de contacto con el suelo (17.777 T/M); lo mismo que a las de borde (8.888 T/M) fig. VII-28.

Ahora, observando los resultados de la Interacción Suelo-Estructura, se ve que la distribución de carga en las contrarabes por reacción de suelo es simétrica, con un valor máximo en los extremos de 24.615 T/M y uno mínimo en la parte central de 7.784 T/M fig. VII-22.

Evidentemente, la configuración de las reacciones del suelo son debidas a la forma de su distribución de esfuerzos, típica en zonas compresibles.

La discrepancia de los elementos mecánicos resistentes en los resultados para las dos consideraciones, radica precisamente en que, por efecto de la Interacción Suelo-Estructura, el momento en la parte central de la cimentación pierde magnitud (8.9T-M fig.VII-24) debido a que la reacción del suelo en el centro es mínima; sucediendo lo contrario con el diagrama obtenido al no tomar el cuenta el efecto de la interacción que, inclusive, cambia de signo (-200.37T-M) fig. VII-34. El mismo efecto sucede en la barra de borde: sin interacción se tiene un momento máximo al centro de -62.09 T-M fig. VII-33, y considerando la interacción, el valor es de -14.23 T-M. fig. VII-25.

Lo mismo se puede concluir en el diagrama de cortantes: son menores en el centro de la barra central (19.45TON) fig. VII-24, tomando en cuenta la interacción, que si no se considerara (44.440 TON) fig. VII-34. Lo contrario sucede en la barra de borde: se tiene un cortante central de 44.72 TON. (fig.VII-25) tomando en cuenta la Interacción,

y de 22.22 TON (fig. VII-33) sin considerarla.

Esto se justifica si se observa que la magnitud de la reacción uniforme del suelo es menor (8.89 T/M) a la obtenida por influencia de la Interacción (13.7 T/M).

Tradicionalmente se diseñan las piezas estructurales analizadas con reacción uniforme del terreno con factores de seguridad amplos. Con el método propuesto en este trabajo es posible obtener la configuración de la reacción del terreno y un factor de seguridad más apegado a la realidad; sin embargo no es práctico el utilizar estructuras de gran longitud; en estos casos, de acuerdo a lo anterior, es recomendable el empleo de juntas constructivas que eviten un número excesivo de claros continuos y grandes en estructuras.

Por otra parte, se tiene una deformación por Interacción Suelo-Estructura, de 90.1 cm. a 90.2 cm (fig. VII-21). Sin embargo, tomando la cimentación como 100% flexible, (fig. VII-32) se observa una deformación al centro de 1.567 m. y en los extremos de 0.486 m; asimismo, una deformación de 0.945 m considerando la cimentación 100% rígida (fig. VII-31).

Ahora bien, considerando la estructura empotrada en su cimentación se obtiene una deformación diferencial de la estructura de 2.1 cm. (fig. VII-37). Estos resultados son fundamentales en la obtención de los elementos mecánicos de las contratabes.

Observese ahora los cinco casos analizados de la cimentación a base de 5 barras de sección, elasticidad y longitud variables con carga -- concentrada de 100 ton. en sus nudos. Es bien notoria la diferencia en los resultados, y de ellos se puede concluir que:

1) La variación de los asentamientos de la estructura son función directa de la resistencia del suelo.

2) La variación de la rigidez de los miembros estructurales son función tanto de los asentamientos relativos de sus nudos, como de los elementos mecánicos en las barras. Estos últimos son el punto de partida para el diseño y revisión de las piezas estructurales.

Sería atrevido afirmar sobre el "sobrado" o "escasez" del diseño de las piezas en los resultados de análisis: las discrepancias en los elementos mecánicos pueden reducirse con la presencia de los factores de seguridad empleados en su diseño.

Por lo anterior, es bien cierto que el método descrito de Interacción Suelo-Estructura proporciona resultados mucho más reales de los que se obtuvieran al no tomarlo en cuenta en el análisis de cimentaciones superficiales. Y es que como se ha dicho a lo largo de este trabajo, el comportamiento de la cimentación es función por un lado de la rigidez de la estructura, y por otro de la flexibilidad del suelo.

Es necesario recalcar que la veracidad de los resultados en los análisis de cimentaciones superficiales que tomen en cuenta la Interacción Suelo-Estructura depende fundamentalmente de los datos proporcionados en el estudio de las propiedades del suelo: mientras mayor información se tenga, los resultados serán más confiables.

Dada la gran cantidad de operaciones a realizar, el análisis conjunto de la estructura y el suelo tiene que llevarse a cabo en la práctica por medio del empleo de computadoras electrónicas.

La ventaja de utilizar el método propuesto de Interacción Suelo-Estructura radica en que, debido al mínimo tiempo de procesamiento de máquina se pueden proponer diversas alternativas de diseño en las piezas estructurales que satisfagan los requisitos del calculista.

Por lo anterior es muy importante que el ingeniero de cimentaciones dedicado a la Interacción Suelo-Estructura, maneje en la forma más clara posible sus conceptos de análisis estructural, de mecánica de suelos y de análisis numérico por computadoras.

La solución de un problema de ingeniería comprende, entre otros aspectos importantes, las siguientes tres etapas: Un sano desarrollo teórico del método a seguir, una calibración en la práctica del análisis propuesto y, como complemento fundamental, un procedimiento de análisis numérico que permita llegar a la solución de un caso particular en forma expedita.

Podemos considerar por lo que respecta a las dos primeras etapas, que el problema de la Interacción Suelo-Estructura nos ha llevado a resultados satisfactorios en cada una de ellas. Sin embargo, en lo que no se ha logrado un avance todavía aceptable, es el desarrollo de métodos numéricos accesibles para el ingeniero de la práctica. En este sentido los programas de computadora para la solución de la Interacción Suelo Estructura son relativamente escasos y su disponibilidad en la práctica está muy limitada. Por lo tanto, es muy deseable que la investigación se encauce a la elaboración de programas de computadora a los cuales el ingeniero tenga fácil acceso.

Vemos por tanto que para atacar en forma conjunta la estructura y el suelo desde el punto de vista práctico, es necesario conocer tres campos de la ingeniería: El análisis estructural, la mecánica de suelos y los métodos numéricos empleando computadoras electrónicas. Un ingeniero que no maneje alguno de ellos difícilmente podrá resolver el problema tan discutible de la Interacción Suelo-Estructura.

APENDICE A

MATRIZ DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA

En esta parte se deducirá la ecuación matricial correspondiente a las retículas o parrillas en sus coordenadas locales y globales, la cual juega el papel principal en la obtención de la ecuación general de la interacción suelo-estructura.

Como es sabido, una retícula es aquella estructura sujeta a cargas -- que actúan en dirección perpendicular a su plano. Las estructuras tales como cubiertas, sistemas de piso, cimentaciones, etc., son ejemplos de retículas.

El método de rigideces será el aplicado en el análisis de parrillas, bajo los siguientes principios:

Este método consiste en resolver un sistema de ecuaciones lineales cuyos coeficientes son las rigideces de los elementos, los términos independientes son las fuerzas en la estructura, y las incógnitas son los desplazamientos en los nudos.

El sistema se puede expresar así:

$$[K] [\Delta] = [P] \dots\dots\dots 1$$

donde: K = matriz de rigidez del sistema (coeficientes)

Δ = vector de desplazamientos (incógnitas)

P = vector de fuerzas (términos independientes)

Los principios en los que se basa el método de rigideces son los siguientes:

a) Se supone que la geometría de la estructura no cambia apreciablemente bajo la aplicación de cargas (teoría de las deflexiones pequeñas)

b) La relación carga-deformación es lineal; es decir, si todas las cargas externas de una estructura son multiplicadas por un factor "C", la deformación de cualquier punto de la estructura será C veces la deformación previa (ley de Hooke).

c) La secuencia de la aplicación de las cargas no altera los resultados finales, siempre que no se alteren los dos principios anteriores (principio de superposición).

d) Si la estructura está en equilibrio, entonces todos sus elementos, sus nudos también lo estarán (principio de equilibrio).

e) La deformación y desplazamiento consecuente de cualquier punto de la estructura es continuo y tiene un sólo valor (principio de compatibilidad).

f) La estructura deberá estar apoyada y cargada (condición de frontera).

g) Para un conjunto de cargas externas, tanto la deformación de la estructura y sus elementos mecánicos, como sus relaciones, tendrán un valor único (principio de unicidad de soluciones).

Los elementos de una retícula están sometidos en general a torsión, fuerza cortante y flexión, entonces tienen 3 posibilidades de despla-

miento global: uno vertical en dirección "Z" y 2 giros respecto al eje-
 "X", "Y" (fig. A-1):

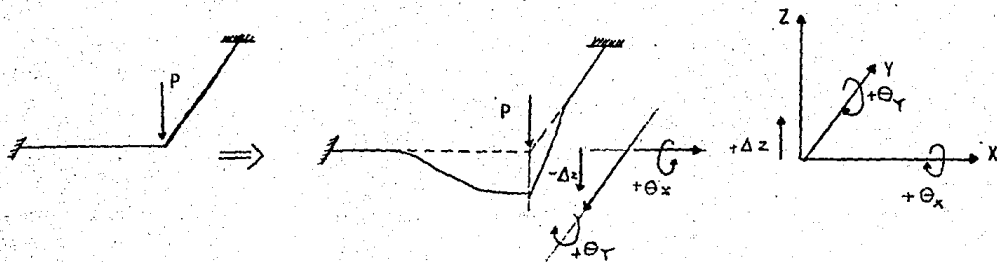


FIG. A-1 : SISTEMA COORDENADO GLOBAL POSITIVO

Aislando una barra de la estructura, los desplazamientos en su sistema local corresponderán a una flexión (θ_y), una torsión (θ_x), y a una vertical (δ_z), (fig. A-2):

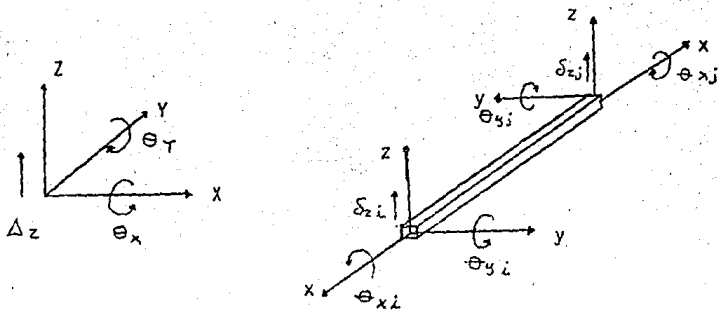


FIG. A-2: SISTEMA COORDENADO LOCAL POSITIVO

Tomando en consideración ambos sistemas coordenados en la obtención de la matriz de rigidez estructural, se podrá tomar la siguiente convención de desplazamientos:

- 1) El plano "Z" global será paralelo al local, por lo que el desplazamiento global también será paralelo al local, y su sentido positivo será hacia arriba (figura A-2).
- 2) El plano "XY" global será paralelo al plano "xy" local.
- 3) El sentido positivo de los giros locales y globales seguirán la regla de la mano derecha (figura A-2).
- 4) Los giros de las barras en el sistema global también seguirán la regla de la mano derecha (figura A-1).

Si se aísla una barra de la retícula y se aplican desplazamientos unitarios en sus 3 grados de libertad, los esfuerzos resistentes nodales serán los siguientes:

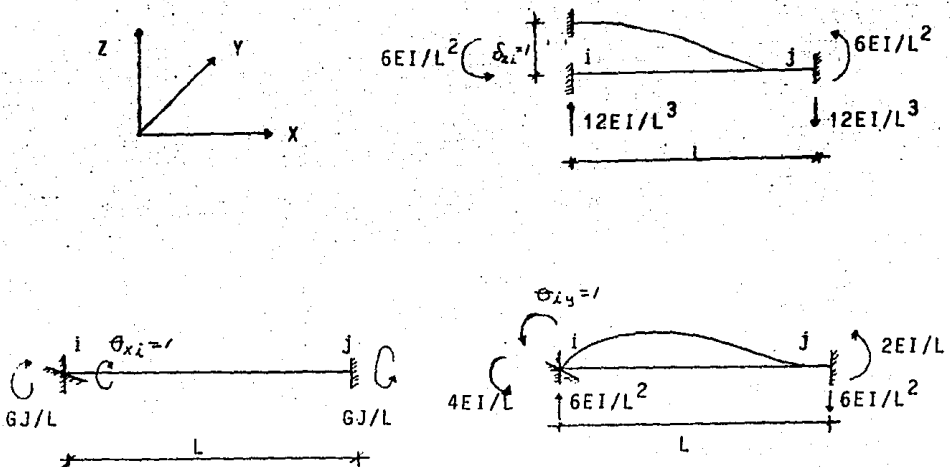


FIG. A-3: FUERZAS NODALES DE UNA BARRA POR DESPLAZAMIENTOS UNITARIOS EN COORDENADAS LOCALES

En el sistema local, la matriz de rigidez correspondiente a cada nudo de la barra, es decir, aquella que relaciona esfuerzos bajo desplazamientos unitarios, según la figura A-3, será:

$$k_{ij} = k_{ji} = \begin{matrix} & \delta_z & \theta_x & \theta_y \\ \begin{bmatrix} -12EI/L^3 & 0 & -6EI/L^2 \\ 0 & GJ/L & 0 \\ -6EI/L^2 & 0 & -2EI/L \end{bmatrix} & \begin{matrix} \delta_z \\ \theta_x \\ \theta_y \end{matrix} & \dots\dots\dots 2 \end{matrix}$$

$$k_{ji} = k_{ij} = \begin{matrix} & \delta_z & \theta_x & \theta_y \\ \begin{bmatrix} 12EI/L^3 & 0 & 6EI/L^2 \\ 0 & GJ/L & 0 \\ 6EI/L^2 & 0 & 4EI/L \end{bmatrix} & \begin{matrix} \delta_z \\ \theta_x \\ \theta_y \end{matrix} & \dots\dots\dots 3 \end{matrix}$$

La expresión 2 nos relaciona los esfuerzos ocurridos en el nudo j cuando se aplican desplazamientos unitarios en el nudo i (o viceversa) en la barra i-j; mientras que la expresión 3 nos proporciona los esfuerzos del nudo i de la barra i-j cuando se aplican en ese mismo nudo desplazamientos unitarios (o viceversa).

De acuerdo con las expresiones 2 y 3 las fuerzas cortantes, flexionantes y torsionantes que se desarrollan en ambos nudos de la barra en coordenadas locales, por efecto de los desplazamientos unitarios en sus extremos, se pueden expresar en forma general como:

$$\begin{bmatrix} p_{zi} \\ m_{xi} \\ n_{yi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12EI/L^3 & 0 & 6EI/L^2 & -12EI/L^3 & 0 & -6EI/L^2 \\ 0 & GJ/L & 0 & 0 & GJ/L & 0 \\ 6EI/L^2 & 0 & 4EI/L & -6EI/L^2 & 0 & -2EI/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{zi} \\ \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \end{bmatrix} \dots 4$$

$$\begin{bmatrix} p_{zj} \\ m_{xj} \\ n_{yj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -12EI/L^3 & 0 & -6EI/L^2 & 12EI/L^3 & 0 & 6EI/L^2 \\ 0 & GJ/L & 0 & 0 & GJ/L & 0 \\ -6EI/L^2 & 0 & -2EI/L & 6EI/L^2 & 0 & 4EI/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{zj} \\ \theta_{xj} \\ \theta_{yj} \end{bmatrix}$$

Y en forma general, la expresión 4 podrá escribirse como:

$$\begin{bmatrix} p_{ij} \\ p_{ji} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{ii} & k_{ij} \\ k_{ji} & k_{jj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{ij} \\ \delta_{ij} \end{bmatrix} \dots 4'$$

donde:

p_{ij} = Vector de fuerzas en la barra $i-j$ que se desarrollan en el nodo "i" en coordenadas locales.

p_{ji} = Vector de fuerzas en la barra $j-i$ que se desarrollan en el nodo "j" en coordenadas locales.

k_{ij} = Rigidez local que se desarrolla en el nodo i de una barra $i-j$ cuando se aplica un desplazamiento unitario a este mismo nodo.

k_{ji} = Rigidez local que se desarrolla en el nodo j de una barra $j-i$ debido a un desplazamiento unitario en ese mismo nodo.

k_{ij} = Rigidez local que se desarrolla en el nodo i debido a un desplazamiento j en la barra $i-j$.

k_{ji} = Rigidez local que se desarrolla en el nodo j debido a un desplazamiento en i de la barra $i-j$.

u_{ij} = Desplazamiento local del nodo i de la barra $i-j$.

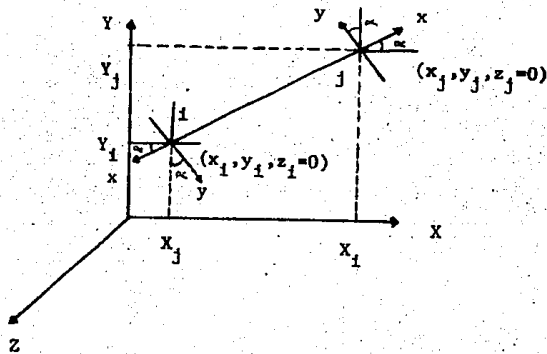
u_{ji} = Desplazamiento local del nodo j de la barra $j-i$.

El sistema de ecuaciones presentado en 4' se encuentra deducido para una barra en coordenadas locales; no obstante se podrá transformar a coordenadas globales mediante la intervención de los cosenos directores para cambiar los esfuerzos de la barra de un sistema (local) a otro (global) o viceversa. La representación general para un sistema local, se aprecia en la figura H-4.

Los cosenos directores de los ejes locales en ambos extremos del

elemento i-j, respecto a los ejes generales serán (figura 5):

FIG. A-4 : TRANSFORMACION DE COORDENADAS



$$n_z = 1$$

$$l_z = 0$$

$$m_z = 0$$

$$n_x = 0$$

$$l_x = (X_i - X_j) / L_{ij} = \cos \alpha$$

$$m_x = (Y_i - Y_j) / L_{ij} = \sin \alpha$$

$$n_y = 0$$

$$l_y = -\sin \alpha$$

$$m_y = \cos \alpha$$

y por lo tanto, la matriz de rotación "R" que transforma a un vector de coordenadas globales a locales será (expresion 6):

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \text{sen } \alpha \\ 0 & -\text{sen } \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

..... B :

$$R_{ji} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\cos \alpha & -\text{sen } \alpha \\ 0 & \text{sen } \alpha & -\cos \alpha \end{bmatrix}$$

donde:

R_{ij} = matriz de rotación de la barra i-j

R_{ji} = matriz de rotación de la barra j-i

La inversa de la matriz "R" nos podrá transformar un vector de coordenadas locales a globales. Sin embargo, como ambos ejes coordenados son ortogonales, se puede demostrar que la inversa de "R" sera igual a su transpuesta (expresión 7):

$$R_{ij}^{-1} = R_{ij}^t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\text{sen } \alpha \\ 0 & \text{sen } \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

$$R_{ji}^{-1} = R_{ji}^t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\cos \alpha & \text{sen } \alpha \\ 0 & -\text{sen } \alpha & -\cos \alpha \end{bmatrix} \dots 7$$

entonces, según lo anterior, para transformar los desplazamientos de un

sistema global a otro local y viceversa, teniendo presente las expresiones 6 y 7, se hara lo siguiente (expresión 8,9):

$$\Delta_{ij} = R_{ij}^t \delta_i \dots\dots\dots 8$$

$$\Delta_{ji} = R_{ji}^t \delta_j \dots\dots\dots 9$$

donde:

Δ_{ij} = Vector de desplazamientos en el nudo i de la barra i-j en coordenadas globales.

Δ_{ji} = Vector de desplazamientos en el nudo j de la barra j-i en coordenadas globales.

R_{ij}^t = Matriz de rotación transpuesta para el extremo i de la barra i-j.

R_{ji}^t = Matriz de rotación transpuesta para el extremo j de la barra j-i.

Análogamente se podra establecer la transformación de coordenadas en los elementos mecánicos de una barra, mediante la expresión 10:

$$p_{ij} = R_{ij} P_{ij}$$

$$p_{ji} = R_{ji} P_{ji}$$

..... 10

$$P_{ij} = R_{ij}^t p_{ij}$$

$$P_{ji} = R_{ji}^t p_{ji}$$

donde:

P_{ij} = vector de cargas de la barra i-j en coordenadas globales.

P_{ji} = vector de cargas de la barra j-i en coordenadas globales.

Ahora estamos en condiciones de establecer un sistema de ecuaciones compatible en coordenadas locales y globales, que nos llevarán finalmente a la expresión matricial de rigidez de la estructura.

El sistema de ecuaciones 4 se podrá expresar como:

$$\begin{aligned}
 P_{ij} &= k_{ii}^j \delta_{ij} + k_{ij}^j \delta_{ji} \\
 P_{ji} &= k_{ji}^i \delta_{ji} + k_{jj}^i \delta_{ji} \dots\dots\dots 11
 \end{aligned}$$

Tomando en cuenta las expresiones 8 y 9 resulta que :

$$\begin{aligned}
 P_{ij} &= k_{ii}^j R_{ij} \Delta_i + k_{ij}^j R_{ji} \Delta_j \\
 P_{ji} &= k_{ji}^i R_{ij} \Delta_i + k_{jj}^i R_{ji} \Delta_j \dots\dots\dots 12
 \end{aligned}$$

las cuales representan los elementos mecánicos en coordenadas locales para ambos extremos de una barra i-j en función a los desplazamientos globales en sus nudos.

Si además se sustituye la expresión 10 en la 12 :

$$\begin{aligned}
 P_{ij} &= R_{ij}^t k_{ij}^j R_{ij} \Delta_i + R_{ij}^t k_{ij}^i R_{ji} \Delta_j \\
 &\dots\dots\dots 13 \\
 P_{ji} &= R_{ji}^t k_{ji}^j R_{ij} \Delta_i + R_{ji}^t k_{ji}^i R_{jj} \Delta_j
 \end{aligned}$$

que nos representa los elementos mecánicos en un sistema global en los extremos de la barra i-j.

La expresión 13 pertenece a un sistema global, salvo en el término que identifica la rigidez del sistema; no obstante dicha expresión será auxiliada por la matriz de rotación respectiva; ello nos conduce a deducir una rigidez con la expresión:

$$\begin{aligned}
 K_{ij} &= R_{ij}^t k_{ij}^j R_{ij} & K_{ji} &= R_{ji}^t k_{ji}^i R_{ji} \\
 &\dots\dots\dots 14 \\
 K_{ii}^j &= R_{ij}^t k_{ij}^j R_{ij} & K_{jj}^i &= R_{ji}^t k_{ji}^i R_{ji}
 \end{aligned}$$

donde:

K_{ij}^j K_{ji}^i = matriz de rigidez en el nudo i de la barra i-j (y viceversa) en coordenadas globales, por un desplazamiento unitario en ese mismo nudo.

K_{ij}^i K_{ji}^j = matriz de rigidez en el nudo j de la barra j-i (y viceversa) en coordenadas globales por un desplazamiento unitario en el nudo opuesto.

Sustituyendo finalmente la expresión 14 en la 13 resulta:

$$P_{ij} = K_{ii}^j \Delta_i + K_{ij}^j \Delta_j$$

..... 15

$$P_{ji} = K_{ji}^i \Delta_i + K_{jj}^i \Delta_j$$

La expresión 15 es la forma general para obtener los elementos mecánicos globales de la estructura. Si se desean calcular estos esfuerzos -- para cada nudo de un elemento estructural en coordenadas locales, bastara aplicar la expresión 12 .

La matriz de rigidez global de la estructura (ecuación 14) conduce a la realización de un triple producto matricial, que es necesario en la sustitución de la expresión 15.

Todos los factores que intervienen en este triple producto ya son conocidos; así que, realizandolo obtenemos las siguientes expresiones:

$$K_{ij}^j = \begin{bmatrix} 12EI/L^3 & -6EI\text{sen}\alpha/L^2 & 6E\text{Icos}\alpha/L^2 \\ -6EI\text{sen}\alpha/L^2 & GJ\text{cos}\alpha/L + 4EI\text{sen}\alpha/L & (GJ/L - 4EI/L)\text{sen}\alpha\text{cos}\alpha \\ 6E\text{Icos}\alpha/L^2 & (GJ/L - 4EI/L)\text{sen}\alpha\text{cos}\alpha & GJ\text{sen}\alpha/L + 4E\text{Icos}\alpha/L \end{bmatrix}$$

$$K_{jj}^1 = \begin{bmatrix} 1q & cs & cs \\ cs & 1q & 1q \\ cs & 1q & 1q \end{bmatrix}$$

$$K_{ij} = \begin{bmatrix} -12EI/L^3 & -6EI\text{sen}\alpha/L^2 & 6EI\text{cos}\alpha/L^2 \\ 6EI\text{sen}\alpha/L^2 & -GJ\text{cos}\alpha/L + 2EI\text{sen}^2/L & (-GJ/L - 2EI/L)\text{sen}\alpha\text{cos}\alpha \\ -6EI\text{cos}\alpha/L^2 & (-GJ/L - 2EI/L)\text{sen}\alpha\text{cos}\alpha & -GJ\text{sen}\alpha/L + 2EI\text{cos}\alpha/L \end{bmatrix}$$

$$K_{ji} = K_{ij}^t$$

En todas las expresiones anteriores se tiene que:

E = módulo de elasticidad de la barra en estudio (en ton/m²)

I = momento de inercia respecto al eje de estudio (en m⁴)

J = constante de torsión, jacobiano definido como la suma de los momentos de inercia en ambos ejes ortogonales de la barra

⁴
(en m).

G = módulo de elasticidad al corte o módulo de rigidez de la barra (en T/m²).

I_g = significa que es igual en magnitud y signo.

I_s = significa que es igual en magnitud pero de signo contrario.

cos α = coseno director en dirección "X" global de la barra i-j, definido como:

$$\cos \alpha = (X_i - X_j) / L_{ij}$$

sen α = coseno director en dirección "Y" global de la barra i-j, definido como:

$$\text{sen } \alpha = (Y_i - Y_j) / L_{ij}$$

A P E N D I C E B

VARIACION VOLUMETRICA DE LOS ESTRATOS

Para el cálculo de la ecuación matricial de esfuerzos en el suelo, es necesario conocer los valores del coeficiente de variación volumétrica (mv) de los estratos que lo forman.

A un proceso de disminución de volumen que tenga lugar en un tiempo, provocado por un aumento de las cargas sobre el suelo, se le llama: proceso de consolidación.

Durante este proceso, el movimiento de las partículas del suelo puede ocurrir solo en dirección vertical, la consolidación, entonces, es de carácter unidireccional o unidimensional.

Esta característica del suelo depende de la condición de esfuerzos a que está sometido. Se pueden presentar los siguientes casos:

- a) Expansión por descargas.
- b) Reconpresión por carga.
- c) Compresión sin expansión previa.

El objetivo de una prueba de consolidación unidimensional es determinar el decremento de volumen en una masa de suelo confinado lateralmente en función de la carga axial aplicada en un lapso de tiempo. Se realiza sobre una muestra labrada en forma de anillo:

La muestra se coloca en el interior de un anillo de bronce que le proporciona un confinamiento lateral. El anillo se coloca entre dos piedras porosas una en cada cara de la muestra; las piedras son de sección circular y de diámetro menor al del anillo. El conjunto se coloca en la cazuela de un consolidómetro de anillo flotante:

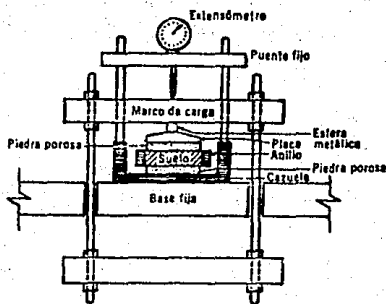


FIG. B-1: DETALLE DE LA CONSOLIDACION DE LA MUESTRA EN EL CONSOLIDOMETRO DE ANILLO FLOTANTE.

Por medio de un marco de carga se aplican cargas a la muestra, repartiéndolas uniformemente en toda su área con el dispositivo formado por la esfera metálica y la placa colocada sobre la piedra porosa superior (figura B-1):

Un extensómetro apoyado en el marco de carga móvil y ligado a la cazuela fija, permite llevar un registro de las deformaciones del suelo. Las cargas se aplican en incrementos de tiempo para que en cada una de ellas obren lo suficientemente hasta que la velocidad de deformación del suelo se reduzca prácticamente a cero.

En cada incremento de carga se hacen lecturas en el extensómetro para conocer la deformación correspondiente a diferentes tiempos. Los datos de estas lecturas se dibujan en una gráfica que tenga por abscisas los valores de los tiempos transcurridos en escala logarítmica y como ordenadas las correspondientes lecturas del extensómetro en escala natural.

Estas curvas se llaman de consolidación y se obtiene una para cada incremento de carga aplicado. En la figura B-2 se muestra la forma típica de una de estas curvas.

Una vez que el suelo alcanza su máxima deformación bajo un incremento de carga aplicado, su relación de vacíos llega a un valor menor del inicial, el cual puede determinarse a partir de los datos iniciales de la muestra, y del tramo "lineal" de la curva de consolidación, que corresponde a la consolidación secundaria del estrato, es decir, al debido únicamente por reacondo progresivo en el tiempo entre las partículas de la muestra. Así, para cada incremento de carga aplicado se tiene finalmente un valor de la relación de vacíos (definido como la relación del volumen de vacíos del espécimen y su volumen de sólidos), y otro de la correspondiente presión actuante sobre el espécimen. Estas curvas se llaman "de compresibilidad", y de ellas se obtiene una en cada prueba de consolidación completa (fig. B-3). El valor de la relación de vacíos se obtendrá en función de las lecturas del extensómetro las cuales serán las que nos podrán representar en forma verídica todos los incrementos de carga en la zona de la consolidación primaria correspondientes al mismo intervalo de tiempo. El tramo de consolidación secundaria se puede apreciar a simple vista, o bien, se puede calcular aproximadamente tomando en cuenta la forma parabólica de toda la curva.

Para localizar el tramo de consolidación primaria, se procederá de

la siguiente forma:

(163)

Escójase un tiempo arbitrario, t_1 , tal que el punto correspondiente "B" en la curva observada, esté situado antes del 50% de consolidación (fig. B-2 y B-2'). Obtengase el punto correspondiente a un tiempo $t_1/4$ y determinese la diferencia de ordenadas, "a" de los dos puntos.

Puesto que entre estos dos puntos hay una relación de abscisas de 4, y puesto que se advierte que estos son puntos de una parábola, se sigue que su relación de ordenadas ha de ser de 2, es decir, el origen de la parábola está a una distancia C. Es aconsejable repetir esta construcción simple varias veces, partiendo de puntos diferentes, y situar el 0% de consolidación a una elevación promedio de las obtenidas. La distancia comprendida entre el 0% y el 50% de consolidación será la misma del 50% al 100%. Esta última podrá ser calculada como sigue: prolongúese una línea paralela al tramo de consolidación secundaria y otra al tramo de consolidación primaria. En la intersección de ambas, trácese una línea horizontal, la cual pertenece al 100% de consolidación primaria (figura B-2').

Las figuras B-5 a B-7 muestran los datos necesarios para realizar la prueba de consolidación.

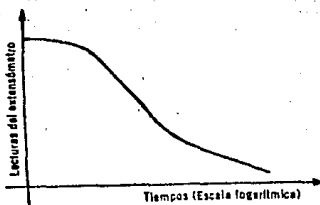


FIG. B-2: FORMA TÍPICA DE LA CURVA DE CONSOLIDACION EN ARCILLAS (fuera de escala)

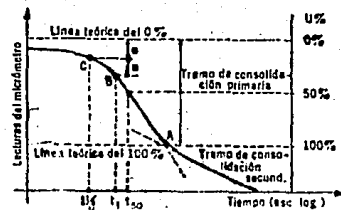


FIG. B-2': DETERMINACION DEL 0% Y DEL 100% DE CONSOLIDACION PRIMARIA.

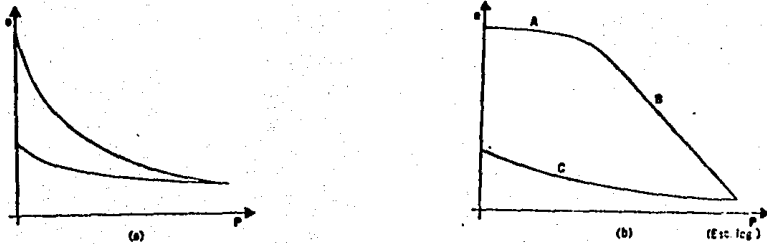


FIG. B-3: FORMA TIPICA DE LA CURVA DE COMPRESIBILIDAD EN SUELOS COMPRESIBLES.

A) REPRESENTACION
ARITMETICA

B) REPRESENTACION
SEMILOGARITMICA

En la curva de compresibilidad se definen 3 tramos diferentes: el "A" es un tramo curvo que comienza en forma casi horizontal y termina en una curvatura progresiva, teniendo su valor máximo en su unión con un tramo recto (tramo B), y con el se llega al final de la etapa de carga de la prueba, al aplicar el máximo incremento de carga, la cual corresponde a la máxima presión actuante sobre la muestra. A partir de ese punto es común someter el espécimen a una segunda etapa ahora de descarga, en la cual se sujeta el suelo a cargas decrecientes, permaneciendo cada incremento el tiempo suficiente para que la velocidad de deformación se reduzca prácticamente a cero. Esta recuperación nunca llega de nuevo a su relación de vacíos inicial. El tramo "C" de la fig. 3 corresponde a esta segunda etapa, con el espécimen llevado a carga final nula.

El tramo "A" de la curva de compresibilidad se llama "tramo de recompresión", el tramo "B", "tramo virgen", y el C, "tramo de descarga".

Si la muestra se somete a un ciclo de carga y descarga, y de inmediato se vuelve a cargar a una presión mayor que la máxima alcanzada

en el primer ciclo, para luego ser descargada, la muestra sufrirá recompresiones y expansiones que se observan en la figura B-4:

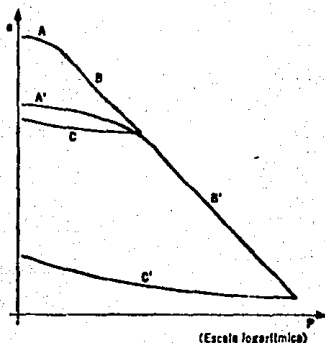


FIG. B-4: CURVAS DE COMPRESIBILIDAD PARA DOS PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA CONSECUTIVOS.

donde la curva "A B C" corresponde al primer ciclo de carga, y la -- "A' B' C'" corresponden al segundo ciclo. En ellas se observa que el tramo virgen para cada ciclo (B - B') sigue la misma inclinación y proyección.

Hay entonces evidencias experimental suficiente para concluir que las presiones correspondientes al tramo "A" ya han sido aplicadas al suelo en otra época, mientras que aquellas correspondientes al tramo "B", son de magnitud mayor a las soportadas en toda la historia del suelo.

Las hojas de cálculo para la determinación del valor del coeficiente de variación volumétrica (mv) se anexan en las figuras B-5 a B-7.

Desde luego, en pruebas de laboratorio hechas con muestras pequeñas, se produce la consolidación en tiempos muy cortos en comparación con el

tiempo en que el estrato real de arcilla se consolidara bajo la carga de la estructura. No obstante se supone que todas las constantes de consolidación son las mismas en el proceso rápido del laboratorio que en el lento de la naturaleza. Es posible que lo anterior sea uno de los factores que influyen en el hecho observado de que los asentamientos predichos son mayores que los reales.

A continuación se deducirán los cálculos en la determinación del valor del coeficiente de variación volumétrica (mv).

Considerese primeramente una compresión sin expansión previa: Por medio de la prueba de consolidación unidimensional se conoce la variación de deformación del suelo (Δe) a un incremento de esfuerzos conocido (Δp); esto es:

$$a_v = \Delta e / \Delta p \quad \dots\dots\dots 1$$

siendo: "av" el módulo de deformación unitario del suelo.

" Δe " el incremento de la relación de vacíos del suelo.

" Δp " la presión del suelo.

Zeevaert encontró de investigaciones realizadas en probetas de suelo inalterado que la ley que rige este fenómeno se puede expresar:

$$\Delta e = a (\Delta p)^c \quad \dots\dots\dots 2$$

donde los parámetros "a", "c", se determinan en el laboratorio.

Investigaciones recientes indican que el valor de "c" es constante para el caso de suelos compresibles y se puede obtener de la curva de compresibilidad del suelo. El valor de "c" así obtenido será:

$$c = \log(e/e_0) / \log(p/p_0)$$

donde "e₀" y "p₀" son las deformaciones y los esfuerzos del suelo en estado virgen, y "p", "e", corresponden al mismo estado bajo un incremento de carga.

Para mayor exactitud de resultados en las pruebas, se puede sustituir la expresión 2 en la 1 :

$$a_v = a (\Delta p)^c / (\Delta p) \quad a_v = a (\Delta p)^{c-1}$$

Conociendo el valor de a_v representativo de cada estrato de espesor H_i, se podrá deducir finalmente:

$$m_v = a_v(H_i)(v_c) = a (\Delta p)^{c-1} (H_i)(v_c) = (\Delta e)(H_i)(v_c) / \Delta p \dots 3$$

donde:

H_i = espesor del estrato i del suelo.

v_c = módulo de Poisson del suelo para deformación nula lateral
(ver tabla 1).

v = módulo de Poisson del suelo.

$$vc = (1 + v)(1 - 2v)/(1 - v)$$

La ecuacion 3 nos da el valor buscado.

Ahora considerese como segundo caso que el suelo en estudio sufre una recompresión por carga. Para este caso el suelo se comprimirá en sus componentes elásticas, plásticas y viscoplásticas:

$$\Delta e = \Delta e_e + \Delta e_p + \Delta e_{vp} \dots\dots\dots 4$$

Tomando en cuenta la expresión 4 y sustituyendola en 1; el módulo de deformación para este estado será:

$$av_r = \Delta e (1 + (\Delta e_p / \Delta e)_r + (\Delta e_{vp} / \Delta e)_r) / \Delta p$$

en la que el prefijo "r" significa un estado de recompresión del suelo.

Sabiendo de antemano que antes de la recompresión ya existía una compresibilidad de valor:

$$av_i = \Delta e_i (1 + (\Delta e_p / \Delta e)_i + (\Delta e_{vp} / \Delta e)_i) / \Delta p_i$$

en la que el prefijo "i" significa un estado inicial del suelo.

A la relación de dichas compresibilidades se le llama: factor de recompresión, y se designa por "Pc" :

$$P_c = \frac{a_{v_r}}{a_{v_i}} \dots\dots\dots 4'$$

aquí las incógnitas son los estados de esfuerzos por recompresión:

$$\Delta e_r \quad \Delta e_{pr} \quad \Delta e_{vpr}$$

ya que los parámetros que definen a "av" son determinados por la prueba de consolidación como se dedujo anteriormente. Notese que el valor de "e" es función del tiempo en que la carga permanece aplicada sobre el consolidómetro.

Las leyes que rigen los valores de Δe_r , Δe_{pr} , Δe_{vpr} son desconocidas, sin embargo se puede hacer la hipótesis aproximada de que estos valores son proporcionales a los resultados para un estado inicial del suelo.

Despejando la expresión 4' obtenemos:

$$a_{v_r} = (P_c)(a_{v_i})$$

donde "av" es el coeficiente de compesibilidad por recompresión.

Finalmente, el valor de m_{v_i} para el estrato "i" será:

$$m_v = \frac{1}{r} (a_v)_1 (P_c) (H_i) (v_c) \dots \dots \dots 5$$

o bien:

$$m_v = \frac{1}{r} (a_v)_r (H_i) (v_c)$$

La expresión 5 nos proporciona el valor buscado, en la cual, "m_v" es el coeficiente de variación volumétrica por recompresión.

Los valores de "v_c" para suelos inalterados en estado confinado bienen dados en la siguiente tabla para cada material en estudio.

TABLA 1: VALORES DE v_c PARA SUELOS INALTERADOS

| MATERIAL | v _c |
|------------------|----------------|
| arcillas | 0.40 |
| arcillas limosas | 0.50 |
| limos arcillosos | 0.65 |
| limos | 0.75 |
| arenas limosas | 0.80 |

Quando el problema de que se trate se incrementa la carga en la superficie del suelo, sin haberse efectuado un alivio de los esfuerzos efectivos por excavaciones, entonces el factor de corrección P_c, valdra la unidad.

Tomando en cuenta el proceso de consolidación del suelo (en el cual se establecen conjuntamente el proceso de carga, descarga y recarga); y los parámetros deducibles de la curva de compresibilidad, el valor

de "mv" resultará :

$$a_v = \Delta e / \Delta p \quad m_v = \frac{a_v}{(1 + e_o)} \quad \dots \dots \quad 6$$

donde:

$\Delta e = e_f - e_o =$ incremento de la relación de vacíos por deformaciones del suelo en el tramo virgen de la curva de compresibilidad.

$\Delta p =$ incremento de presión para el cual se obtuvo Δe

$e_o =$ relación de vacíos inicial del suelo.

$e_f =$ relación de vacíos final del suelo.

En la práctica, la ecuación 6 es la más utilizable para la obtención del coeficiente de variación volumétrica del suelo.

Para la determinación de "mv" en cargas transitorias o dinámicas, es necesario tomar en cuenta que, debido a su impermeabilidad, el suelo no puede momentaneamente cambiar de volumen, ya que el agua contenida en sus poros necesita ser expulsada hacia las superficies de drenaje, para lo cual se hace necesario que la prueba sea efectuada en una cámara triaxial con el confinamiento requerido por el estrato considerado.

En resumen, las expresiones 3, 5, 6 son las que proporcionan el valor del coeficiente de variación volumétrica del suelo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"

DEPARTAMENTO DE TALLERES Y LABORATORIOS
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

CONSOLIDACION REGISTRO DE DESCARGA

MUESTRA _____ IDENTIFICACION DE LABORATORIO _____

CONSOLIDOMETRO N° _____ PRUEBA N° _____

| PRESION | HCPA | TIEMPO TRANSCURRIDO | MICROMETRO mm | DEFORMACION mm | CORRECCION APARATO | PRESION | HORA | TIEMPO TRANSCURRIDO | MICROMETRO mm | DEFORMACION mm | CORRECCION APARATO |
|-----------------------------------|------|---------------------|---------------|----------------|--------------------|-----------------------------------|------|---------------------|---------------|----------------|--------------------|
| P ₁ ΔP ₁ | | 0 seg | | | | P ₁ ΔP ₁ | | 0 seg | | | |
| | | 15 | | | | | | 15 | | | |
| | | 60 min | | | | | | 60 min | | | |
| | | 90 | | | | | | 90 | | | |
| P ₂ ΔP ₂ | | 0 seg | | | | P ₂ ΔP ₂ | | 0 seg | | | |
| | | 15 | | | | | | 15 | | | |
| | | 60 min | | | | | | 60 min | | | |
| | | 90 | | | | | | 90 | | | |
| P ₃ ΔP ₃ | | 0 seg | | | | P ₃ ΔP ₃ | | 0 seg | | | |
| | | 15 | | | | | | 15 | | | |
| | | 60 min | | | | | | 60 min | | | |
| | | 90 | | | | | | 90 | | | |
| P ₄ ΔP ₄ | | 0 seg | | | | P ₄ ΔP ₄ | | 0 seg | | | |
| | | 15 | | | | | | 15 | | | |
| | | 60 min | | | | | | 60 min | | | |
| | | 90 | | | | | | 90 | | | |
| P ₅ ΔP ₅ | | 0 seg | | | | P ₅ ΔP ₅ | | 0 seg | | | |
| | | 15 | | | | | | 15 | | | |
| | | 60 min | | | | | | 60 min | | | |
| | | 90 | | | | | | 90 | | | |

OBSERVACIONES _____ FIGURA B-5 REGISTRO DE CARGA Y DESCARGA PARA LA CURVA DE CONSOLIDACION _____

OPERADOR _____ CALCULO _____ FECHA _____

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES "ACATLAN"
DEPARTAMENTO DE TALLERES Y LABORATORIOS
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

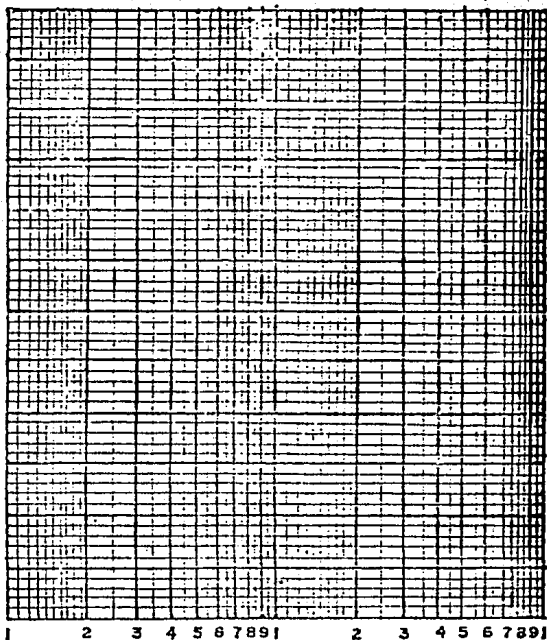
CONSOLIDACION-GRAFICA

PROCEDENCIA _____ MUESTRA _____

IDENTIFICACION DE LABORATORIO _____

FIGURA B-6 ESCALA SEMILOGARITMICA PARA LA
CURVA DE CONSOLIDACION

RELACION DE VACIOS e



PRESION EN Kg/cm²

OBSERVACIONES _____

OPERADOR _____ CALCULO _____ FECHA _____

APENDICE C

DISTRIBUCION DE ESFUERZOS EN EL SUELO

La matriz de flexibilidades que interviene en la interacción suelo-estructura, está constituida por parámetros que determinan las características geométricas y mecánicas del suelo para obtener sus esfuerzos y asentamientos en diversos puntos. En este apéndice se hablará sobre la propiedad que presenta el suelo bajo la acción de cargas externas, y es la de el cálculo de la distribución de esfuerzos.

Para poder determinar la distribución de esfuerzos en el suelo, es necesario dar algunas hipótesis en sus propiedades y comportamiento :

El suelo será considerado homogéneo, es decir; en cualquier punto horizontal sus propiedades físicas son idénticas.

Isótropo, es decir; cuando en cada punto del suelo sus propiedades físicas son idénticas en dirección horizontal; también lo serán en dirección vertical.

Finalmente será elástico, por seguir (se supone) la ley de Hooke, es decir, que sus deformaciones son proporcionales a sus esfuerzos.

Bajo las anteriores hipótesis, a un suelo con una carga aplicada sobre él, se le puede determinar la distribución de presiones en su interior. No obstante su comportamiento real tendrá, con estas hipótesis, una aproximación razonable de la forma en que realmente se distribuyen los esfuerzos verticales.

Existen varias expresiones para calcular la magnitud y distribución de esfuerzos en el suelo, las cuales dependen del tipo de carga externa a que está expuesto.

Para fines de este trabajo se estudiarán dos condiciones de carga a -- que puede estar sometido el suelo: la carga distribuida linealmente (tal -- es el caso de las contratrabes o las zapatas corridas), y la carga por unidad de área (como en las losas de cimentación).

A continuación se enunciarán algunas de las expresiones más usadas para valuar el esfuerzo en un punto cualquiera el suelo:

EXPRESIONES DE BOUSSINESQ:

Para la distribución de carga lineal (en ton/m) se puede aplicar la -- expresión de Boussinesq siguiendo la figura C-1:

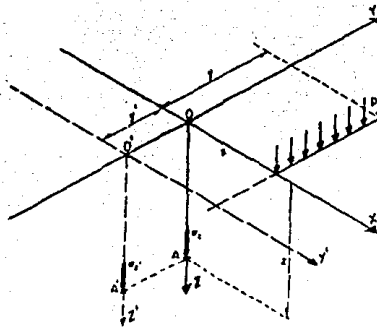


FIG. C-1: DISTRIBUCION DE ESFUERZOS CON CARGA LINEAL.

En esta figura aparece una carga lineal uniformemente distribuida en la longitud "Y", de P unidades de carga por unidad de longitud (ton/m). El esfuerzo \sqrt{z} en un punto de la masa de suelo bajo "O", valdrá:

$$\sqrt{z} = \frac{P}{2\pi} \frac{1}{(x^2+z^2)^{3/2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}} \left[\frac{1}{x^2+y^2+z^2} + \frac{2}{(x^2+z^2)^{3/2}} \right] \dots \dots \dots 1$$

Así por ejemplo, si se desea calcular el valor de $\sqrt{z'}$ bajo un punto "O'" diferente de O, podrá considerarse que la carga lineal tiene la longitud Y+Y' y proceder a calcular así el $\sqrt{z''}$; después habrá de calcularse el esfuerzo correspondiente a una longitud y' ($\sqrt{z'''}$). El $\sqrt{z'}$ deseado será evidentemente:

$$\sqrt{z'} = \sqrt{z''} - \sqrt{z'''}$$

Para el caso de una distribución de carga por unidad de área (en ton/m²), se podrá aplicar la siguiente expresión de Boussinesq (fig. C-2):

$$\sqrt{z} = \frac{1}{4\pi} \frac{2xyz(x^2+y^2+z^2)^{1/2}}{(x^2+y^2+z^2)^2} \cdot \frac{x^2+y^2+2z}{x^2+y^2+z} + \text{ang } \theta \frac{2xyz(x^2+y^2+z^2)^{1/2}}{(x^2+y^2+z)^2-x^2y} \dots \dots \dots 2$$

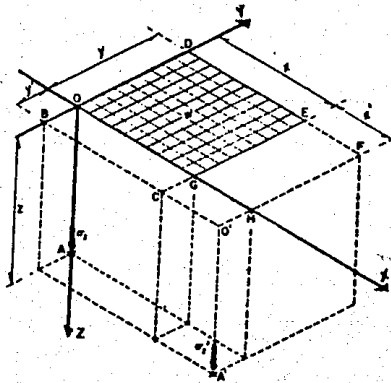


FIG. C-2: DISTRIBUCION DE ESFUERZOS BAJO UNA SUPERFICIE RECTANGULAR.

Para encontrar el valor de \sqrt{z} correspondiente a una profundidad z , se procederá a calcular las distancias X , Y , que definen el área cargada (fig. C-2). Debe notarse que el sistema coordenado base respecto al cual se calculó la expresión 2 es tal que su origen coincide precisamente en la esquina del área rectangular uniformemente cargada.

Si se desean calcular los esfuerzos bajo otro punto, tal como el A' de la figura C-2 podrá procederse haciendo sustracciones y adiciones convenientes al área cargada. Por ejemplo, en el caso del punto A' , podría -- calcularse el $\sqrt{z''}$ correspondiente al área hipotética $BO'FD$; después de los $\sqrt{z''}$ y $\sqrt{z''}$ sustractivos correspondientes a las áreas $BO'HO$ y $CO'FE$, debiendo notarse que al hacer estas sustracciones, el área $CO'HG$ se resta del total inicial dos veces, por lo que será necesario calcular el esfuerzo \sqrt{z} por ella producido y tomarlo como aditivo una vez. El esfuerzo $\sqrt{z'}$ deseado será:

$$\sqrt{z'} = \sqrt{z''} - \sqrt{z''' } - \sqrt{z^{iv}} + \sqrt{z^v}$$

GRAFICA DE FADUM:

En 1939, Fadum preparo una gráfica que es muy similar a la de Boussinesq para una superficie rectangular en la determinación de sus esfuerzos de influencia, quedando el punto bajo investigación a la profundidad z debajo de una de las esquinas de dicha superficie.

El valor del esfuerzo vertical a la profundidad z viene dada por la ecuación:

$$\sqrt{z} = I \times q \dots \dots \dots 3$$

donde:

- 1 = Valor de influencia que depende de "m" y de "n" de la gráfica.
- m = Relación entre el ancho del rectángulo y la profundidad z .
- n = Relación entre el lado largo del rectángulo y la profundidad z .
- (EL valor de m y n son intercambiables)
- q = Carga por unidad de superficie ($1/m$).

Así, para calcular el esfuerzo bajo una superficie rectangular cargada uniformemente con una carga q (ton/m^2), se calculan los valores de -

"m" y "n"; y por medio de la gráfica mencionada (fig. C-9) se calcula el valor de I, el cual se multiplica por "q".

CARTA DE NEWMARK :

Newmark desarrolló en 1942 un método gráfico sencillo que permite obtener rápidamente los esfuerzos verticales (\sqrt{z}) transmitidos a un medio semiinfinito, homogéneo, isotrópico y elástico para cualquier condición de carga uniformemente repartida sobre la superficie del medio. Esta carta es especialmente útil cuando se tienen varias áreas cargadas, aplicando en cada una de ellas, diferentes presiones a la superficie del medio.

El método se basa en la expresión de Boussinesq correspondiente al esfuerzo vertical bajo el centro de un área circular uniformemente cargada. Esta ecuación puede escribirse:

$$\sqrt{z/w} = 1 - (1 / (1 + (r/z)^2)^{3/2}) \dots\dots\dots 4$$

donde:

- r = radio de la circunferencia
- w = carga uniformemente repartida (l/m).

(181)

= profundidad del punto donde se requiere determinar el esfuerzo, bajo el centro del área circular.

Si en esta ecuación se dá a \sqrt{z}/w el valor de 0.1 se encuentra que r/z resulta ser 0.27; es decir, que si se tiene un círculo cargado de radio $r = 0.27z$, donde z es la profundidad de un punto A bajo el centro del círculo, el esfuerzo en dicho punto A será:

$$\sqrt{z} = 0.1 w$$

Si este círculo de $r=0.27z$ se divide en un número de segmentos iguales (fig.C-3), cada uno de ellos contribuirá el esfuerzo \sqrt{z} total en la misma proporción. Si el número es 20 como es usual en las cartas de Newmark, cada segmento cooperará para el esfuerzo \sqrt{z} con $0.1w/20 = 0.005w$. El valor de 0.005 es el valor de influencia correspondiente a cada uno de los segmentos circulares considerados.

Si ahora se toma $\sqrt{z}/w = 0.2$, resulta $r/z = 0.40$; es decir, para el mismo punto A a la profundidad z , se requiere ahora un círculo cargado de $r = 0.40z$, para que el esfuerzo \sqrt{z} sea igual a $0.2w$:

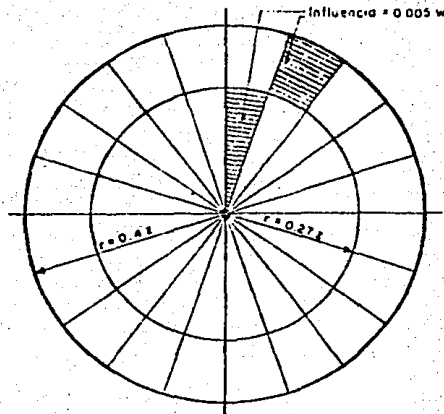


FIG. C-3 : PRINCIPIO DE LA CARTA DE NEWMARK.

Concéntrico con el anterior puede dibujarse otro círculo con dicho $r = 0.40z$. Como el primer círculo produciría en A un $\sqrt{z} = 0.1w$, se sigue que la corona circular ahora agrangada produce otro $\sqrt{z} = 0.1w$ (de modo que el nuevo círculo total genera $\sqrt{z} = 0.2w$). Así, si los radios que dividían el primer círculo se prolongan hasta el segundo, se tendrá la corona subdividida en áreas cuya influencia es la misma que la de los segmentos originales ($0.005w$).

De esta manera puede seguirse dando a $\sqrt{z/w}$ valores de 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 obteniendo así los radios de círculos concéntricos en función de la z del punto A, que den los esfuerzos 0.3w, 0.4w, etc. en el punto A. Prolongando los radios vectores ya usados se tendrá a las nuevas coronas circulares añadidas subdivididas en áreas cuya influencia es igualmente de 0.005w sobre el esfuerzo en A.

Para $\sqrt{z/w}=1.0$ resulta que el radio del círculo correspondiente es ya infinito, para cualquier z diferente de cero, por lo que las áreas que se generan por prolongación de los radios vectores fuera del círculo en que $z/w = 0.9$, aún siendo infinitas, tienen la misma influencia sobre A que las restantes dibujadas.

Para encontrar el valor de \sqrt{z} en puntos con diferentes profundidades que el A puede procederse en forma similar, construyendo otras cartas de Newmark, con base en otros valores de z . Debe notarse sin embargo, que el valor de \sqrt{z} depende sólo del valor de la relación $r/2$, por lo que una sola carta de Newmark puede usarse para determinar los \sqrt{z} a distintas profundidades, a lo largo de la vertical por el centro de los círculos concéntricos, con tal de considerar que la z usada para la construcción de la carta representa las distintas profundidades a que se desea calcular los esfuerzos, si bien a diferentes escalas.

Puesto de otra forma, en la práctica se puede hacer funcionar la carta de Newmark de dos maneras distintas.

- a). Usando varias cartas de Newmark. Por ejemplo, si las z usadas para la construcción de las cartas son 1 cm, 2cm, 5cm, 10cm y 20 cm y se tiene un área cargada cuya influencia se desea determinar, representada a escala 100, las cartas proporcionarían los \sqrt{z} producidos por tal área a profundidades de 1 m,

2 m, 5 m, 10 m y 20 m, que son las z utilizadas a escala 100.

- b). Usando una sola carta de Newmark, para lo cual será preciso disponer de varias plantillas del área cargada cuya influencia se estudia, dibujadas a escalas diferentes. Así, por ejemplo, si la carta que se dispone fue construida con base en una z de 10 cms, y se desea conocer el \sqrt{z} que se produce a las profundidades de 2m, 5m, 10m y 20 m, deberán construirse en plantillas a escalas tales que estas profundidades queden representadas por la $z = 10$ cm, es decir, a escalas: 20, 50, 100 y 200.

La plantilla del área cargada, dibujada en papel transparente, se coloca en cual forma que el centro de la carta coincida con el punto bajo el cual quiere calcularse los \sqrt{z} . A continuación se contarán los elementos de área de la carta cubiertos por dicha área cargada, aproximando convenientemente las fracciones de elemento. El número así obtenido, multiplicado por el valor de influencia común de los elementos (en el desarrollo anterior 0.005) da el valor de influencia que multiplicado por la w que se tenga, da el valor de \sqrt{z} deseado:

$$\sqrt{z} = (0.005)(\text{No. elementos})(w) \dots\dots\dots 5$$

Posiblemente la máxima utilidad del método de Newmark aparezca cuando se tiene la zona por diversas áreas cargadas uniformemente, pero son cargas de distintas intensidades, pues en este caso los métodos antes vistos requerirían muchos cálculos mientras que la carta de Newmark funciona sin mayor dificultad.

**DISTRIBUCIONES DE ESFUERZOS EN EL SUELO
CON CARACTERÍSTICAS ELÁSTICAS.**

Para un suelo estratificado con características elásticas diferentes, usaremos el método de Steinbrenner, basado en calcular el esfuerzo en una esquina de un área rectangular, localizada en la superficie de una capa elástica de espesor "D" (fig. C-4):

$$\sigma_z = \frac{B}{E} \left[(1 - D^2) F_1 + (1 - D - 2D^2) F_2 \right]$$

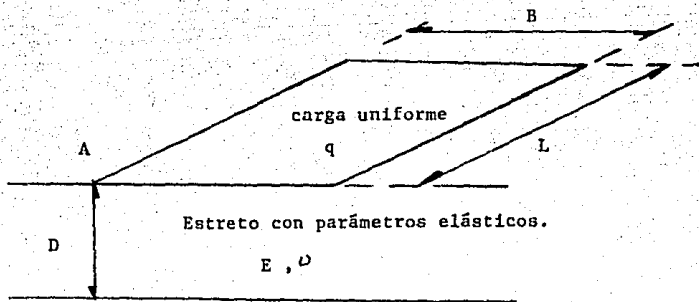


FIG. C-4: DISTRIBUCION DE ESFUERZOS POR EL METODO DE STEINBRENNER.

La determinación del módulo de Poisson del suelo (ν) puede efectuarse mediante varias formas. En algunos casos se recomienda el siguiente método :

- a). Determinar el módulo de elasticidad "E" como se indica posteriormente.
- b). Realizar una prueba de compresión confinada (bajo condiciones de deformación lateral nula), con lo que se determina el módulo de deformación confinado:

$$M_c = \frac{\sqrt{z}}{e_z}$$

Donde : \sqrt{z} = Esfuerzo Vertical.

e_z = Es la deformación unitaria vertical inmediata

Con estos datos se aplica la siguiente ecuación :

$$\nu = \frac{-hc-E}{4hc} \sqrt{\left(\frac{hc-E}{4hc}\right)^2 + \frac{hc-E}{2hc}}$$

Si no se dispone de los resultados de una prueba de compresión confinada se pueden utilizar los valores de la relación de Poisson de la tabla 1 del apéndice B.

El módulo de elasticidad "E" puede definirse como la pendiente de la curva: esfuerzo Axial (\sqrt{z}) contra deformación vertical (e_z), y se obtiene del laboratorio realizando pruebas de compresión triaxial dire-

nadas en el caso de arenas, y no drenadas (o de compresión simple) en -- las arcillas.

Observando la forma de la curva (fig. C-5), se tomará como valor de "E" a la tangente del tramo inicial de dicha curva, o como la secante que une el origen con el punto correspondiente al 50% del máximo esfuerzo vertical de la prueba. Algunos autores sugieren que la determinación del módulo de elasticidad se realice en ciclos de carga de 3 a 5 unidades de carga y descarga :

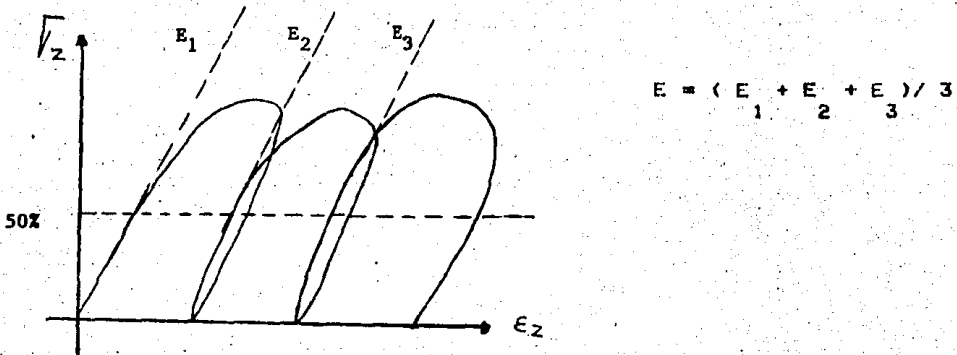


FIG. C-5: FORMA TÍPICA DE LA CURVA : $V_z - e_z$ DEL SUELO.

El método más preciso para evaluar el módulo de elasticidad es la prueba de placa "in-situ", consistente en determinar la deformación que sufre el suelo al ser cargado con varias placas rígidas de acero de diferentes tamaños pero todas rectangulares, determinando para cada una su curva: $V_z - e_z$.

EXPRESION DE DAMBU :

Dambu también proporciona una expresión para superficies rectangulares uniformemente cargadas, pero considera la profundidad a que se encuentra la superficie dentro del suelo. Los esfuerzos así obtenidos bienen dados por la siguiente expresión :

$$\sqrt{z} = (u_0)(u_1)(B)(1 - D^2)/E \dots\dots\dots 7$$

Los valores de u_0 y u_1 dependen de las relaciones: H/B , L/B , Df/B ;

donde:

H = Espesor del medio elástico a partir del nivel de desplante.

Df = Profundidad de desplante.

L, B = Dimensiones de la superficie cargada.

E = módulo de elasticidad del suelo.

u_0, u_1 = Valores de influencia.

D = Relación de Poisson del suelo.

\sqrt{z} = Esfuerzo del suelo en el estrato z .

Los valores de influencia (u_0, u_1) se presentan en la fig. C-8.

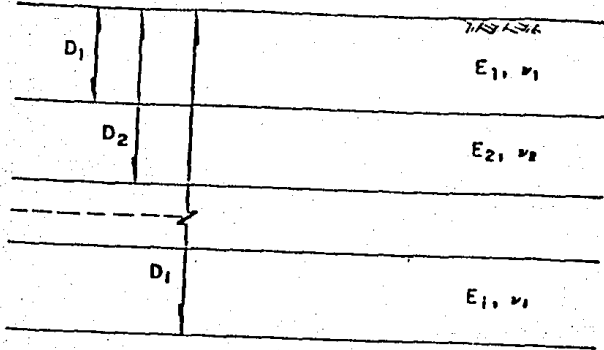


FIGURA C-6: MEDIO ESTRATIFICADO (STEIMBRENNER)

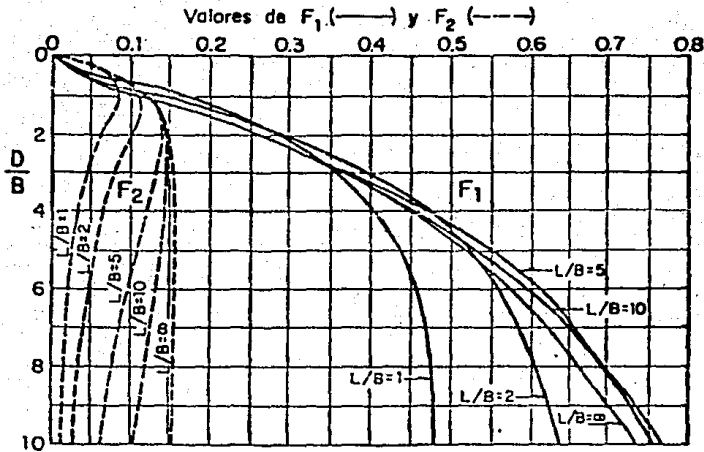
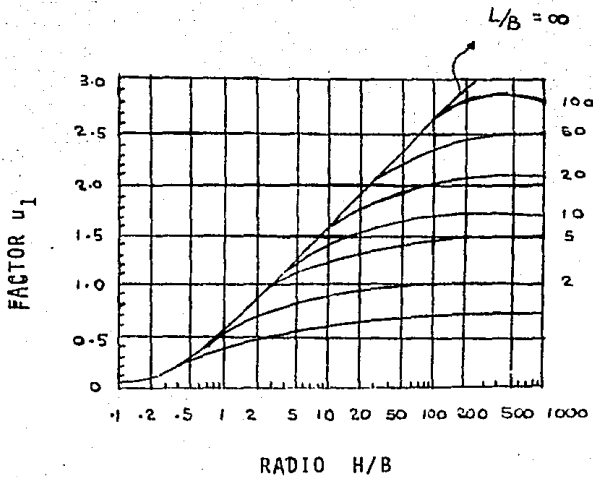
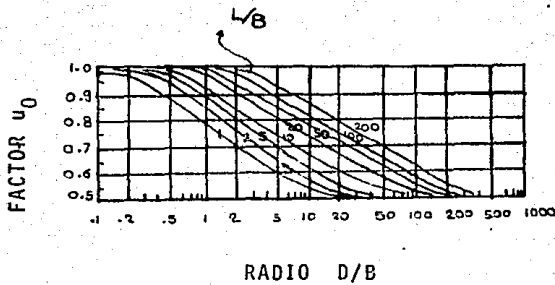
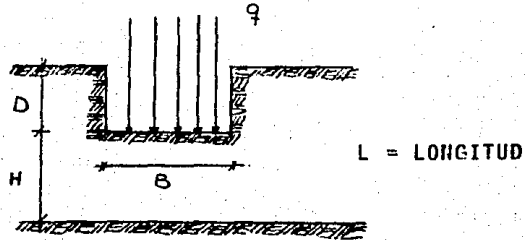


FIGURA C-7 : FACTORES DE INFLUENCIA (STEIMBRENNER)

FIGURA C-8

(190)

VALORES DE u_0 Y u_1 PARA EL CALCULO DE ASENTAMIENTOS
SEGUN LA EXPRESION DE DAMBU



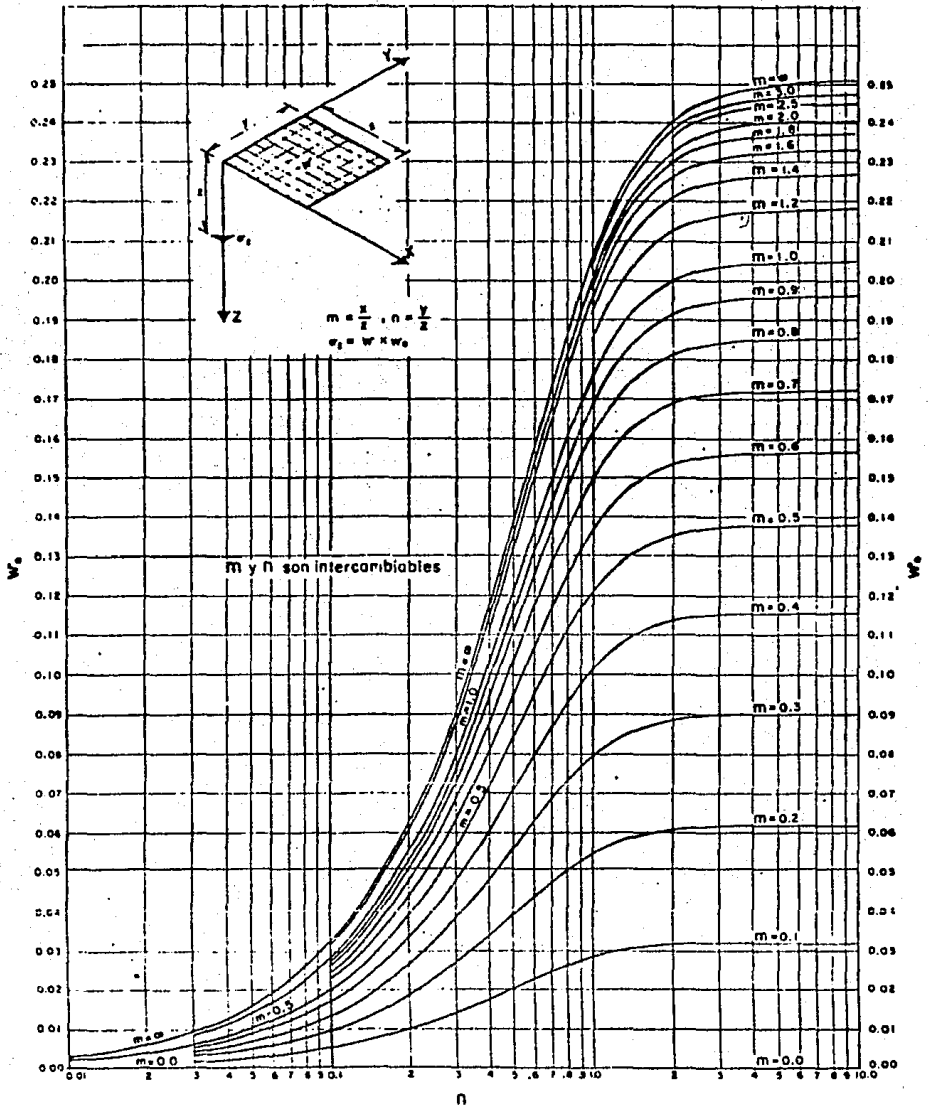


FIGURA C-9 Gráfica de Fadum

A P E N D I C E D

P R O G R A M A D E C O M P U T A D O R A

En las siguientes hojas se listan todos los programas que forman el sistema: I S E B 7 (Interacción Suelo-Estructura, versión 1987).

A continuación se enunciarán las actividades de cada programa:

- 1) ISEB7 : Sistema de transferencia que administra las ejecuciones de todos los programas, así como la de purgar todos los archivos que posteriormente se alimentarán.
- 2) ASUES1 : Programa que obtiene la matriz de rigides de la estructura.
- 3) ABOUS : Programa que obtiene la matriz de flexibilidades del suelo.
- 4) AFUEM : Programa que obtiene la ecuación matricial Suelo-Estructura.
- 5) AECUA : Programa que resuelve el sistema de ecuaciones por el método de Gauss.
- 6) AREAC1 : Programa que obtiene las reacciones globales del suelo por hundimientos.
- 7) AFL9 : Programa que obtiene los desplazamientos totales de la estructura.

- 8) &EMU20 : Programa que obtiene los elementos mecánicos de la Interacción Suelo-Estructura.
- 9) &MECA : Programa que obtiene los elementos mecánicos de la estructura por desplazamientos verticales.
- 10) &MECC: Programa que obtiene los elementos mecánicos de la estructura debido a giros en dirección " X ".
- 11) &MECD: Programa que obtiene los elementos mecánicos de la estructura debido a giros en dirección "Y".
- 12) &MECE: Programa que obtiene los elementos mecánicos de la estructura debido a fuerzas equivalentes.
- 13) MENU2 : Sistema de transferencia que administra la opción de resultados.
- 14) &M2 : Programa que despliega en pantalla un menú de control de resultados.

ISE87 T=00004 IS ON CR00030 USING 00006 BLKS R=0000

0001 :SV,1,,IH
0002 :PU,FLEX5::30
0003 :PU,FLEX2::30
0004 :PU,MFU::30
0005 :PU,BARRA::30
0006 :PU,SALIDA::30
0007 :PU,FINA::30
0008 :PU,MDFLE::30
0009 :PU,FLEX1::30
0010 :PU,FLEX6::30
0011 :PU,FLEX4::30
0012 :PU,VDESP::30
0013 :PU,CIONO::30
0014 :PU,CIONE::30
0015 :PU,FLE10::30
0016 :PU,DESP::30
0017 :PU,MECA::30
0018 :PU,MECE::30
0019 :PU,MECI::30
0020 :PU,MECO::30
0021 :PU,MECU::30
0022 :RU,SUES1::30
0023 :RU,BOUS::30
0024 :RU,FUEM::30
0025 :RU,ECUA::30
0026 :RU,REAC1::30
0027 :RU,FL9::30
0028 :RU,EMU20::30
0029 :RU,EMECA::30
0030 :RU,EMECC::30
0031 :RU,EMECD::30
0032 :RU,EMECE::30
0033 :SV,0
0034 :**
0035 :**
0036 :**
0037 :**
0038 :**
0039 :**
0040 :**
0041 :**
0042 :**
0043 :**
0044 :**
0045 :**
0046 :**
0047 :**
0048 :;

***** FIN DE PROCESO *****

*** CORRER EL PROGRAMA: ,MENU2 ****


```

0001 FTN7X,L
0002 *FILES 0,6
0003 *EMA /BEL/
0004 PROGRAM SUES1
0005
0006
0007
0008 C ESTE PROGRAMA OBTIENE LA MATRIZ DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA
0009 C REALIZACION: IVAN SANTACRUZ CHAVANDO
0010
0011
0012
0013
0014 DIMENSION A(50,10),B(50,6),C(50,7),D(150,150),IDCB(150),
0015 1NOMAR(3),E(150),VM(50,7),ES(10,2)
0016 DOUBLE PRECISION A,B,C,D,E,VM,ES
0017 COMMON /BEL/A,B,C,D,E,VM,ES
0018 CHARACTER * 20 ARCH,FINA,PROP,BARRA
0019 CHARACTER * 15 DATO
0020 DATA NOMAR //FLEX2 //
0021 DATA NOMAR //FLEX5 //
0022 DATA NOMAR //BARRA //
0023 DATA NOMAR //SALIDA //
0024 DATA NOMAR //FINA //
0025 CALL PURGE(IDCB,IERR,NOMAR)
0026 OPEN(65,FILE='FLEX2: :30',ACCESS='SE',STATUS='NE')
0027 OPEN(67,FILE='FLEX5: :30',ACCESS='SE',STATUS='NE')
0028 OPEN(61,FILE='BARRA: :30',ACCESS='SE',STATUS='NE')
0029 OPEN(85,FILE='SALIDA: :30',ACCESS='SE',STATUS='NE')
0030 DO I=1,50
0031 DO J=1,7
0032 A(I,J)=0.0
0033 B(I,J)=0.0
0034 C(I,J)=0.0
0035 VM(I,J)=0.0
0036 END DO
0037 A(I,8)=0.0
0038 A(I,9)=0.0
0039 A(I,10)=0.0
0040 END DO
0041 DO I=1,150
0042 DO J=1,150
0043 D(I,J)=0.0
0044 END DO
0045 E(I)=0.0
0046 END DO
0047 DO I=1,10
0048 ES(I,1)=0.00
0049 ES(I,2)=0.00
0050 END DO
0051 WRITE(85,86)
0052 86 FORMAT(5(/),10X,'INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA EN CIMENTACIONES',
0053 1' SUPERFICIALES',/,10X,50('X'),///,15X,'REALIZACION : IVAN SANT',
0054 1'ACRUZ CHAVANDO',/,28X,23('*'),///,15X,'DATOS GENERALES DE ANAL',
0055 1'ISIS ',/)
0056 CALL CLRSC(1)
0057 WRITE(1,66)
0058 66 FORMAT(10(/),35X,'S U E S ',5(/),25X,'SUELO-ESTRUCTURA EN',

```

```

0059 1'RETICULAS PLANAS ',,25X,38('*'),,,,35X,'1 9 8 6',3(/)
0060 1,26X,'REACCION UNIFORME DEL SUELO',,26X,27('+'),/)
0061 WRITE(1,*)'NOMBRE ARCHIVO DE DATOS ?'
0062 READ(1, '(A6)')ARCH
0063 OPEN(18,FILE='FINA',,30',ACCESS='SE',STATUS='NE')
0064 OPEN(15,FILE=ARCH,STATUS='OL',ACCESS='SE')
0065 WRITE(65,*)'SUELO-ESTRUCTURA EN PARRILLAS: DATOS DE ANALISIS'
0066 READ(15, '(A20)')DATO
0067 WRITE(65, '(A10)')DATO
0068 READ(15, '(A20)')DATO
0069 WRITE(65,*)'NUMERO DE NUDOS:'
0070 WRITE(61,*)'NUMERO DE NUDOS:'
0071 READ(15,*)NN
0072 WRITE(61,*)NN
0073 WRITE(85,87)NN
0074 87 FORMAT(///,20X,'NUDOS TOTALES DE LA CIMENTACION ',,15,///,20X,
0075 1'COORDENADAS GLOBALES Y CARGAS NODALES',,///,5X,'NUDO',5X,'X(m',
0076 1'ts)',5X,'Y(mts)',5X,'Fz(ton)',5X,'Mx(t-m)',5X,'My(t-m)',,///)
0077 WRITE(18,*)'DATOS GENER. DE LA ESTRUCTURA: NUMERO DE NUDOS:'
0078 WRITE(18,*)NN
0079 WRITE(65,*)NN
0080 READ(15, '(A20)')DATO
0081 DO 10 I=1,NN
0082 READ(15,*)IALSO,A(I,1),A(I,2),A(I,6),A(I,7),A(I,8)
0083 WRITE(61,*)IALSO,',',A(I,1),',',A(I,2)
0084 WRITE(85,88)IALSO,A(I,1),A(I,2),A(I,6),A(I,7),A(I,8)
0085 88 FORMAT(5X,I3,5X,F6.2,5X,F6.2,5X,F6.3,5X,F6.2,5X,F6.2,/)
0086 10 WRITE(65,*)IALSO,',',A(I,1),',',A(I,2),',',A(I,6)
0087 READ(15, '(A6)')DATO
0088 READ(15,*)N
0089 WRITE(18,*)'NUM. DE ELEMENTOS TIPO:'
0090 WRITE(18,*)N
0091 READ(15, '(A6)')DATO
0092 WRITE(18,*)'E(t/M2),I(M4),G(t/M2),J(M4)'
0093 WRITE(85,89)N
0094 89 FORMAT(///,20X,'NUMERO DE ELEMENTOS TIPO ',,13,///,5X,'TIPO',
0095 110X,'E(t/m2)',,10X,'I(M4)',,10X,'G(t/m2)',,10X,'J(M4)',,///)
0096 DO 20 I=1,N
0097 READ(15,*)FALSO,B(I,1),B(I,2),B(I,3),B(I,4)
0098 WRITE(85,81)FALSO,B(I,1),B(I,2),B(I,3),B(I,4)
0099 81 FORMAT(5X,I3,8X,F10.2,7X,F10.6,6X,F10.2,6X,F10.6,/)
0100 20 WRITE(18,*)B(I,1),B(I,2),B(I,3),B(I,4)
0101 READ(15, '(A5)')DATO
0102 READ(15,*)NB
0103 WRITE(18,*)'NO. DE BARRAS TOTALES'
0104 WRITE(65,*)'NO. DE BARRAS TOTALES'
0105 WRITE(61,*)'NO. DE BARRAS TOTALES'
0106 WRITE(18,*)NB
0107 WRITE(65,*)NB
0108 WRITE(61,*)NB
0109 WRITE(85,82)NB
0110 82 FORMAT(//,20X,'NUMERO DE BARRAS TOTALES ',,14,////,5X,'BARRA',
0111 15X,'NUDO I',,5X,'NUDO J',,5X,'TIPO',5X,'CARGA UNIFORME (t/m)',,///)
0112 READ(15, '(A6)')DATO
0113 WRITE(65,*)'BARRA I J'
0114 WRITE(61,*)'BARRA I J'
0115 WRITE(18,*)'I,J, TIPO, LONG(M), COSE, SENQ'
0116 DO 30 I=1,NB
0117 READ(15,*)FALSO,C(I,1),C(I,2),C(I,3),C(I,7)
0118 WRITE(85,92)FALSO,C(I,1),C(I,2),C(I,3),C(I,7)

```

```

0119 92  FORMAT(5X,I5,5X,I3,7X,I3,7X,I3,7X,F10.2,/)
0120      C(I,4)=SQRT(ABS(A(C(I,2),1)-A(C(I,1),1))**2+ABS(A(C(I,2),2)-
0121      1A(C(I,1),2))**2)
0122      C(I,5)=(A(C(I,1),1)-A(C(I,2),1))/C(I,4)
0123      C(I,6)=(A(C(I,1),2)-A(C(I,2),2))/C(I,4)
0124      WRITE(65,*)I,',' ,C(I,1),',' ,C(I,2)
0125      WRITE(61,*)I,',' ,C(I,1),',' ,C(I,2)
0126 30  WRITE(18,*)C(I,1),',' ,C(I,2),',' ,C(I,3),',' ,C(I,4),',' ,C(I,5)
0127      1,',' ,C(I,6)
0128      READ(15, '(A20)')DATO
0129      WRITE(65,*)'NUMERO DE ESTRATOS DEL SUELO'
0130      READ(15,*)NES
0131      WRITE(65,*)NES
0132      WRITE(85,83)NES
0133 83  FORMAT(///,20X,'NUMEROS DE ESTRATOS DEL SUELO 1',I3,///,5X,
0134      1'ESTRATO',10X,'ESPESOR (mts)',10X,'COEF. DE VAR. VOL. (M2/T',
0135      1'on)',/,)
0136      READ(15, '(A20)')DATO
0137      WRITE(65,*)'ESTRATO,ESPESOR(MTS),MU(M2/TON)'
0138      DO I=1,NES
0139      READ(15,*)IALSO,ES(I,1),ES(I,2)
0140      WRITE(85,84)FALSO,ES(I,1),ES(I,2)
0141 84  FORMAT(5X,I3,14X,F10.5,15X,F10.6,/)
0142      WRITE(65,*)IALSO,',' ,ES(I,1),',' ,ES(I,2)
0143      END DO
0144      WRITE(85,91)
0145 91  FORMAT(5(//),50X,'F I N   D E   D A T O S')
0146      DO K=1,NB
0147      A(C(K,1),6)=+A(C(K,1),6)+C(K,7)*C(K,4)/2
0148      VM(K,1)=C(K,7)*C(K,4)/2
0149      A(C(K,1),7)=A(C(K,1),7)-C(K,7)*C(K,4)**2*C(K,6)/12
0150      A(C(K,1),8)=A(C(K,1),8)+C(K,7)*C(K,4)**2*C(K,5)/12
0151      VM(K,3)=C(K,7)*C(K,4)**2/12
0152      A(C(K,2),6)=+A(C(K,2),6)+C(K,7)*C(K,4)/2
0153      VM(K,4)=C(K,7)*C(K,4)/2
0154      A(C(K,2),7)=A(C(K,2),7)+C(K,7)*C(K,4)**2*C(K,6)/12
0155      A(C(K,2),8)=A(C(K,2),8)-C(K,7)*C(K,4)**2*C(K,5)/12
0156      VM(K,6)=+C(K,7)*C(K,4)**2/12
0157      END DO
0158      WRITE(18,*)'Vi(TON),TORS i(T-M),Mi(T-M),Vj(TON),TORj(T-M),Mj'
0159      DO K=1,NB
0160      WRITE(18,*)VM(K,1),',' ,VM(K,2),',' ,VM(K,3),',' ,VM(K,4),
0161      1',' ,VM(K,5),',' ,VM(K,6)
0162      END DO
0163      DO K=1,NN
0164      E(3*K-2)=A(K,6)
0165      E(3*K-1)=A(K,7)
0166      E(3*K-0)=A(K,8)
0167      END DO
0168      DO 50 I=1,NB
0169      D(3*C(I,1)-2,3*C(I,2)-2)=12*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)/C(I,4)**3
0170      D(3*C(I,1)-2,3*C(I,2)-1)=-6*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)*C(I,6)/
0171      1C(I,4)**2
0172      D(3*C(I,1)-2,3*C(I,2))=6*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)*C(I,5)/C(I,4)
0173      1**2
0174      D(3*C(I,1)-1,3*C(I,2)-2)=D(3*C(I,1)-2,3*C(I,2)-1)
0175      D(3*C(I,1)-1,3*C(I,2)-1)=B(C(I,3),3)*B(C(I,3),4)*ABS(C(I,5))**2
0176      1/C(I,4)+4*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)*ABS(C(I,6))**2/C(I,4)
0177      D(3*C(I,1)-1,3*C(I,2))=(B(C(I,3),3)*B(C(I,3),4)/C(I,4)
0178      1-4*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)/C(I,4))*C(I,5)*C(I,6)

```

```

0179      D(3*C(I,1),3*C(I,2)-2)=D(3*C(I,1)-2,3*C(I,2))
0180      D(3*C(I,1),3*C(I,2)-1)=D(3*C(I,1)-1,3*C(I,2))
0181      D(3*C(I,1),3*C(I,2))=B(C(I,3),3)*B(C(I,3),4)*ABS(C(I,6))*2/C
0182      1+4*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)*ABS(C(I,5))*2/C(I,4)
0183      D(3*C(I,2)-2,3*C(I,1)-2)=D(3*C(I,1)-2,3*C(I,2)-2)
0184      D(3*C(I,2)-2,3*C(I,1)-1)=-D(3*C(I,1)-2,3*C(I,2)-1)
0185      D(3*C(I,2)-2,3*C(I,1)-0)=-D(3*C(I,1)-2,3*C(I,2))
0186      D(3*C(I,2)-1,3*C(I,1)-2)=-D(3*C(I,1)-1,3*C(I,2)-2)
0187      D(3*C(I,2)-1,3*C(I,1)-1)=D(3*C(I,1)-1,3*C(I,2)-1)
0188      D(3*C(I,2)-1,3*C(I,1)-0)=D(3*C(I,1)-1,3*C(I,2))
0189      D(3*C(I,2)-0,3*C(I,1)-2)=-D(3*C(I,1),3*C(I,2)-2)
0190      D(3*C(I,2)-0,3*C(I,1)-1)=D(3*C(I,1),3*C(I,2)-1)
0191 50    D(3*C(I,2),3*C(I,1)-0)=D(3*C(I,1),3*C(I,2))
0192      DO I=1,3*NN
0193      END DO
0194      DO 60 I=1,NN
0195      DO 70 J=1,NN
0196      IF(I.EQ.J)GO TO 80
0197      D(3*I-2,3*I-2)=D(3*I-2,3*I-2)+D(3*I-2,3*J-2)
0198      D(3*I-2,3*I-1)=D(3*I-2,3*I-1)+D(3*I-2,3*J-1)
0199      D(3*I-2,3*I)=D(3*I-2,3*I)+D(3*I-2,3*J)
0200      D(3*I-1,3*I-2)=D(3*I-1,3*I-2)+D(3*I-1,3*J-2)
0201      D(3*I-1,3*I-1)=D(3*I-1,3*I-1)+D(3*I-1,3*J-1)
0202      D(3*I-1,3*I)=D(3*I-1,3*I)+D(3*I-1,3*J)
0203      D(3*I,3*I-2)=D(3*I,3*I-2)+D(3*I,3*J-2)
0204      D(3*I,3*I-1)=D(3*I,3*I-1)+D(3*I,3*J-1)
0205      D(3*I,3*I)=D(3*I,3*I)+D(3*I,3*J)
0206 80    FALSE=0.0
0207 70    CONTINUE
0208 60    CONTINUE
0209      DO 90 I=1,NN
0210      DO 100 J=1,NN
0211      IF(I.EQ.J)GO TO 110
0212      D(3*I-2,3*J-2)=0.0
0213      D(3*I-2,3*J-1)=0.0
0214      D(3*I-2,3*J)=0.0
0215      D(3*I-1,3*J-2)=0.0
0216      D(3*I-1,3*J-1)=0.0
0217      D(3*I-1,3*J)=0.0
0218      D(3*I,3*J-2)=0.0
0219      D(3*I,3*J-1)=0.0
0220      D(3*I,3*J)=0.0
0221 110   FALSE=0.0
0222 100   CONTINUE
0223 90    CONTINUE
0224      DO 40 I=1,NN
0225      D(3*C(I,1)-2,3*C(I,2)-2)=-12*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)
0226      1/C(I,4)**3
0227      D(3*C(I,1)-2,3*C(I,2)-1)=-6*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)*C(I,6)
0228      1/C(I,4)**2
0229      D(3*C(I,1)-2,3*C(I,2))=6*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)*C(I,5)
0230      1/C(I,4)**2
0231      D(3*C(I,1)-1,3*C(I,2)-2)=-D(3*C(I,1)-2,3*C(I,2)-1)
0232      D(3*C(I,1)-1,3*C(I,2)-1)=-B(C(I,3),3)*B(C(I,3),4)*ABS(C(I,5))
0233      1**2/C(I,4)+2*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)*ABS(C(I,6))*2/C(I,4)
0234      D(3*C(I,1)-1,3*C(I,2))=(-B(C(I,3),3)*B(C(I,3),4)/C(I,4)
0235      1-2*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)/C(I,4))*C(I,5)*C(I,6)
0236      D(3*C(I,1),3*C(I,2)-2)=-D(3*C(I,1)-2,3*C(I,2))
0237      D(3*C(I,1),3*C(I,2)-1)=D(3*C(I,1)-1,3*C(I,2)-0)
0238      D(3*C(I,1),3*C(I,2))=-B(C(I,3),3)*B(C(I,3),4)*ABS(C(I,6))*2

```

```

0239      1/C(I,4)+2*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)*ABS(C(I,5))*2/C(I,4)
0240      D(3*C(I,2)-2,3*C(I,1)-2)=D(3*C(I,1)-2,3*C(I,2)-2)
0241      D(3*C(I,2)-1,3*C(I,1)-2)=D(3*C(I,1)-2,3*C(I,2)-1)
0242      D(3*C(I,2)-0,3*C(I,1)-2)=D(3*C(I,1)-2,3*C(I,2)-0)
0243      D(3*C(I,2)-2,3*C(I,1)-1)=D(3*C(I,1)-1,3*C(I,2)-2)
0244      D(3*C(I,2)-1,3*C(I,1)-1)=D(3*C(I,1)-1,3*C(I,2)-1)
0245      D(3*C(I,2)-0,3*C(I,1)-1)=D(3*C(I,1)-1,3*C(I,2)-0)
0246      D(3*C(I,2)-2,3*C(I,1)-0)=D(3*C(I,1)-0,3*C(I,2)-2)
0247      D(3*C(I,2)-1,3*C(I,1)-0)=D(3*C(I,1)-0,3*C(I,2)-1)
0248      40      D(3*C(I,2)-0,3*C(I,1)-0)=D(3*C(I,1)-0,3*C(I,2)-0)
0249      DO 120 I=1,NN
0250      DO 130 J=1,3*NN
0251      IF(A(I,3).EQ.1.0) THEN
0252      D(3*I-2,J)=0.0
0253      D(J,3*I-2)=0.0
0254      END IF
0255      IF(A(I,4).EQ.1.0) THEN
0256      D(3*I-1,J)=0.0
0257      D(J,3*I-1)=0.0
0258      END IF
0259      IF(A(I,5).EQ.1.0) THEN
0260      D(3*I,J)=0.0
0261      D(J,3*I)=0.0
0262      END IF
0263      130      CONTINUE
0264      120      CONTINUE
0265      IJ=0.0
0266      DO 140 I=1,3*NN
0267      DO 150 J=1,3*NN
0268      IF(D(I,J).EQ.0.0) GO TO 160
0269      IJ=IJ+1
0270      DO 170 K=1,3*NN
0271      170      D(IJ,K)=D(I,K)
0272      E(IJ)=E(I)
0273      GO TO 180
0274      160      FALSO=0.0
0275      150      CONTINUE
0276      180      FALSO=0.0
0277      140      CONTINUE
0278      IJ=0
0279      DO 190 I=1,3*NN
0280      DO 200 J=1,3*NN
0281      IF(D(J,I).EQ.0.0) GO TO 210
0282      IJ=IJ+1
0283      DO K=1,3*NN
0284      D(K,IJ)=D(K,I)
0285      END DO
0286      GO TO 220
0287      210      FALSO=0.0
0288      200      CONTINUE
0289      220      FALSO=0.0
0290      190      CONTINUE
0291      WRITE(67,*)'ORDEN DE LA MATRIZ DE LA ESTRUCTURA'
0292      WRITE(67,*)IJ
0293      WRITE(67,*)'MATRIZ DE RIGIDEZ FINAL Y VECTOR DE CARGAS DE
0294      1 LA ESTRUCTURA'
0295      DO I=1,IJ
0296      WRITE(67,*)(D(I,J),',',J=1,IJ),E(I)
0297      END DO
0298      CLOSE(65)

```

0299
0300
0301
0302
0303
0304

CLOSE(15)
CLOSE(67)
CLOSE(18)
CLOSE(61)
CLOSE(85)
END

(200)

&BOUS T=00004 IS ON CR00021 USING 00018 BLKS R=0000

0001 FTN7X,L
0002 \$FILES 0,3
0003 \$EMA /BEL/
0004 PROGRAM BOUS
0005
0006
0007

0008
0009 C
0010 C
0011 C
0012 C

ESTE PROGRAMA OBTIENE LA MATRIZ DE FLEXIBILIDAD DEL SUELO
POR REACCION UNIFORME
SUELO - ESTRUCTURA
REALIZACION: IVAN SANTACCRUZ CHAVANDO.

0013
0014
0015
0016
0017
0018
0019
0020
0021
0022
0023
0024
0025
0026
0027
0028
0029
0030
0031
0032
0033
0034
0035
0036
0037
0038
0039
0040
0041
0042
0043
0044
0045
0046
0047
0048
0049
0050
0051
0052
0053
0054
0055
0056
0057
0058

```
DIMENSION TA(110,2),TB(110,2),ZA(110,110),AA(110,4),DE(110,110),
IEE(110,110)
DOUBLE PRECISION TA,TB,ZA,AA,DE,EE
COMMON /BEL/TA,TB,ZA,AA,DE,EE
CHARACTER * 6 DATO
OPEN(9,FILE='MDFLE:1:30',ACCESS='SE',STATUS='NE')
OPEN(8,FILE='FLEX2:1:30',STATUS='OL',ACCESS='SE')
OPEN(6,FILE='FLEX5:1:30',STATUS='OL',ACCESS='SE')
DO I=1,110
DO J=1,110
ZA(I,J)=0.00
DE(I,J)=0.00
EE(I,J)=0.00
END DO
END DO
DO I=1,110
DO J=1,2
TA(I,J)=0.0
TB(I,J)=0.0
AA(I,J)=0.0
END DO
AA(I,4)=0.0
AA(I,3)=0.0
END DO
READ(6,'(A6)')DATO
READ(6,*)M
READ(6,'(A6)')DATO
DO I=1,M
READ(6,*)(DE(I,J),J=1,M),AA(I,4)
END DO
READ(8,'(A6)')DATO
READ(8,'(A6)')DATO
READ(8,'(A6)')DATO
READ(8,*)N
DO I=1,N
READ(8,*)FALSO,TA(I,1),TA(I,2)
END DO
READ(8,'(A6)')DATO
READ(8,*)NB
READ(8,'(A6)')DATO
DO I=1,NB
READ(8,*)FALSO,TB(I,1),TB(I,2)
```

(202)

```
0059 TA(N+I,1)=(TA(TB(I,1),1)+TA(TB(I,2),1))/2
0060 TA(N+I,2)=(TA(TB(I,1),2)+TA(TB(I,2),2))/2
0061 END DO
0062 J=N
0063 DO I=1,NE
0064 J=J+1
0065 AA(I,1)=TB(I,1)
0066 AA(I,2)=J
0067 AA(I,3)=TB(I,2)
0068 END DO
0069 DO I=1,2*NB,2
0070 TB(I,1)=AA(INT(I/2)+1,1)
0071 TB(I,2)=AA(INT(I/2)+1,2)
0072 TB(I+1,1)=AA(INT(I/2)+1,2)
0073 TB(I+1,2)=AA(INT(I/2)+1,3)
0074 END DO
0075 DO I=1,2*NB
0076 END DO
0077 DO I=1,N+NB
0078 END DO
0079 READ(8,'(A6)')DATO
0080 READ(8,*)NE
0081 READ(8,'(A6)')DATO
0082 DO I=1,NE
0083 READ(8,*)FALSO,AA(I,1),AA(I,2)
0084 END DO
0085 DO 10 I=1,N
0086 DO 20 J=1,2*NB
0087 H=0.0
0088 DO 30 K=1,NE
0089 H=H+AA(K,1)/2
0090 A=TA(I,1)
0091 B=TA(I,2)
0092 C=TA(TB(J,1),1)
0093 D=TA(TB(J,1),2)
0094 E=TA(TB(J,2),1)
0095 F=TA(TB(J,2),2)
0096 IF((F-D).EQ.0.0)X=A
0097 IF((F-D).EQ.0.0)Y=D
0098 IF((E-C).EQ.0.0)X=C
0099 IF((E-C).EQ.0.0)Y=B
0100 IF((F-D).EQ.0.0.OR.(E-C).EQ.0.0)GO TO 5
0101 G=(F-D)/(E-C)
0102 P=(C-E)/(F-D)
0103 X=(G*C-D+B-P*A)/(G-P)
0104 Y=G*(X-C)+D
0105 5 D1=SQRT(ABS(X-A)**2+ABS(Y-B)**2)
0106 D2=SQRT(ABS(X-C)**2+ABS(Y-D)**2)
0107 D3=SQRT(ABS(X-E)**2+ABS(Y-F)**2)
0108 D4=SQRT(ABS(C-E)**2+ABS(D-F)**2)
0109 FFF=D1**2+D3**2+H**2
0110 FFF=D1**2+H**2
0111 F1=D3*H**3*(1/FF+2/FFF)/(6.2831853*FFF*SQRT(FF))
0112 FFF=D1**2+D2**2+H**2
0113 FFF=D1**2+H**2
0114 F2=D2*H**3*(1/FF+2/FFF)/(6.2831853*FFF*SQRT(FF))
0115 R=ABS(F1-F2)
0116 IF(D3.LT.D4.AND.D2.LT.D4)R=ABS(F1+F2)
0117 RR=R*AA(K,1)*AA(K,2)
0118 L=TB(J,1)
```



```
0119 IF(N.LT.TB(J,1))L=TB(J,2)
0120 ZA(I,L)=ZA(I,L)+RR
0121 H=H+AA(K,1)/2
0122 30 CONTINUE
0123 20 CONTINUE
0124 10 CONTINUE
0125 WRITE(9,*)'MATRIZ DE FLEXIBILIDADES EL SUELO REACCION UNIFORM.'
0126 WRITE(9,*)'ORDEN DE LA MATRIZ : '
0127 WRITE(9,*)N
0128 DO I=1,N
0129 WRITE(9,*)(ZA(I,J),',',J=1,N)
0130 END DO
0131 DO I=1,N
0132 DO J=1,N
0133 EE(3*I-2,3*J-2)=EE(3*I-2,3*J-2)+ZA(I,J)
0134 ZA(I,J)=0.0
0135 END DO
0136 END DO
0137 DO I=1,3*N
0138 AA(I,2)=0.0
0139 AA(I,3)=0.0
0140 END DO
0141 DO I=1,3*N
0142 DO J=1,3*N
0143 DO K=1,3*N
0144 ZA(I,J)=ZA(I,J)+EE(I,K)*DE(K,J)
0145 END DO
0146 AA(I,2)=AA(I,2)+EE(I,J)*AA(J,4)
0147 END DO
0148 ZA(I,1)=ZA(I,1)+1.000
0149 END DO
0150 CLOSE(9)
0151 CLOSE(6)
0152 CLOSE(8)
0153 END
```

ΔFUEM T=00004 IS ON CR00021 USING 00018 BLKS R=0000

```

0001 FTN7X,L
0002 $FILES 0,5
0003 $EMA /BEL/
0004 PROGRAM FUEM
0005
0006
0007
0008 C ESTE PROGRAMA OBTIENE LA ECUACION MATRICIAL SUELO-ESTRUCTURA
0009 C POR EL METODO DE DEMENEGI. PARA REACION DEL SUELO UNIFORME.
0010 C REALIZACION: IVAN SANTACRUZ CHAVANDO
0011
0012
0013
0014 DIMENSION A(150,3),B(150,3),C(150,50),D(150,150),EE(150,12)
0015 DOUBLE PRECISION A,B,C,D,EE
0016 COMMON /BEL/A,B,C,D,EE
0017 CHARACTER * 6 DATO
0018 OPEN(10,FILE='FLEX5: :30',ACCESS='SE',STATUS='OL')
0019 OPEN(15,FILE='MDFLE: :30',ACCESS='SE',STATUS='OL')
0020 OPEN(20,FILE='FLEX1: :30',ACCESS='SE',STATUS='NE')
0021 OPEN(30,FILE='BARRA: :30',ACCESS='SE',STATUS='OL')
0022 OPEN(31,FILE='MFU: :30',ACCESS='SE',STATUS='NE')
0023 DO I=1,150
0024 DO J=1,150
0025 D(I,J)=0.0
0026 END DO
0027 DO J=1,50
0028 C(I,J)=0.00
0029 END DO
0030 DO J=1,3
0031 A(I,J)=0.00
0032 B(I,J)=0.00
0033 END DO
0034 END DO
0035 DO I=1,150
0036 DO J=1,12
0037 EE(I,J)=0.0
0038 END DO
0039 END DO
0040 READ(10, '(A6)')DATO
0041 READ(10,*)M
0042 READ(10, '(A6)')DATO
0043 DO I=1,M
0044 READ(10,*)(D(I,J),J=1,M),A(I,3)
0045 END DO
0046 READ(15, '(A6)')DATO
0047 READ(15, '(A6)')DATO
0048 READ(15,*)MM
0049 WRITE(20,*)MM
0050 DO I=1,MM
0051 READ(15,*)(D(M+I,M+J),J=1,MM)
0052 END DO
0053 DO I=1,MM
0054 D(M+I,3*I-2)=-1.00
0055 END DO
0056 READ(30, '(A6)')DATO
0057 READ(30,*)N
0058 DO I=1,N

```

```

0059 READ(30,*)FALSO,A(I,1),A(I,2)
0060 END DO
0061 READ(30, '(A6)')DATO
0062 READ(30,*)NB
0063 READ(30, '(A6)')DATO
0064 DO I=1,NB
0065 READ(30,*)FALSO,B(I,1),B(I,2)
0066 B(I,3)=SQRT(ABS(A(B(I,1),1)-A(B(I,2),1))**2+ABS(A(B(I,1),2)-
0067 1A(B(I,2),2))**2)
0068 END DO
0069 DO I=1,NB
0070 C(3*B(I,1)-2,B(I,1))=C(3*B(I,1)-2,B(I,1))+13*B(I,3)/32
0071 C(3*B(I,2)-2,B(I,1))=C(3*B(I,2)-2,B(I,1))+03*B(I,3)/32
0072 C(3*B(I,1)-2,B(I,2))=C(3*B(I,1)-2,B(I,2))+03*B(I,3)/32
0073 C(3*B(I,2)-2,B(I,2))=C(3*B(I,2)-2,B(I,2))+13*B(I,3)/32
0074 EE(I,1)=13*B(I,3)/32
0075 EE(I,2)=03*B(I,3)/32
0076 EE(I,7)=03*B(I,3)/32
0077 EE(I,8)=13*B(I,3)/32
0078 C(3*B(I,1)-0,B(I,1))=C(3*B(I,1)-0,B(I,1))+(11*B(I,3)**2/192)
0079 1*((A(B(I,1),1)-A(B(I,2),1)))/B(I,3)
0080 C(3*B(I,1)-0,B(I,2))=C(3*B(I,1)-0,B(I,2))+(05*B(I,3)**2/192)
0081 1*((A(B(I,1),1)-A(B(I,2),1)))/B(I,3)
0082 C(3*B(I,2)-0,B(I,1))=C(3*B(I,2)-0,B(I,1))+(5*B(I,3)**2/192)*
0083 1((A(B(I,2),1)-A(B(I,1),1)))/B(I,3)
0084 C(3*B(I,2)-0,B(I,2))=C(3*B(I,2)-0,B(I,2))+(11*B(I,3)**2/192)*
0085 1((A(B(I,2),1)-A(B(I,1),1)))/B(I,3)
0086 C(3*B(I,1)-1,B(I,1))=C(3*B(I,1)-1,B(I,1))-(11*B(I,3)**2/192)*
0087 1((A(B(I,1),2)-A(B(I,2),2)))/B(I,3)
0088 C(3*B(I,1)-1,B(I,2))=C(3*B(I,1)-1,B(I,2))-(05*B(I,3)**2/192)*
0089 1((A(B(I,1),2)-A(B(I,2),2)))/B(I,3)
0090 C(3*B(I,2)-1,B(I,1))=C(3*B(I,2)-1,B(I,1))-(05*B(I,3)**2/192)*
0091 1((A(B(I,2),2)-A(B(I,1),2)))/B(I,3)
0092 C(3*B(I,2)-1,B(I,2))=C(3*B(I,2)-1,B(I,2))-(11*B(I,3)**2/192)*
0093 1((A(B(I,2),2)-A(B(I,1),2)))/B(I,3)
0094 EE(I,05)=11*B(I,3)**2/192
0095 EE(I,06)=05*B(I,3)**2/192
0096 EE(I,11)=05*B(I,3)**2/192
0097 EE(I,12)=11*B(I,3)**2/192
0098 END DO
0099 WRITE(31,*)'MATRIZ DE FUERZAS :'
0100 WRITE(31,*)NB
0101 DO I=1,NB
0102 WRITE(31,*)(EE(I,J),',',J=1,12)
0103 END DO
0104 DO I=1,3*N
0105 DO J=1,N
0106 D(I,M+J)=C(I,J)
0107 END DO
0108 END DO
0109 WRITE(20,*)'ECUACION MATRICIAL SUELO-ESTRUCTURA REACC. UNIF.'
0110 WRITE(20,*)'ORDEN DE LA MATRIZ :'
0111 WRITE(20,*)M+N
0112 DO I=1,M+N
0113 WRITE(20,*)(D(I,J),',',J=1,M+N),A(I,3)
0114 END DO
0115 CLOSE(10)
0116 CLOSE(15)
0117 CLOSE(20)
0118 CLOSE(30)

```

0119
0120

CLOSE(31)
END

(206)

(207)

&ECUA T=00004 IS ON CR00021 USING 00018 BLKS R=0000

```
0001 FTN7X,L
0002 PROGRAM ECUA
0003 DOUBLE PRECISION A(50),R(50),T(50),B(50),C(50),DELP,DELQ,
0004 IPZ,QZ,CMB,DEN,RA,RAD
0005 INTEGER * 4 IR,IW,L,NUM,M,J,N,K,LL,JM1,NEWN,NNN
0006 WRITE(1,*)'PROGRAMA PARA RESOLVER UNA ECUACION DE CUALQUIER
0007 1 GRADO'
0008 IR=0
0009 IW=6
0010 C=0.00001
0011 EPS=0.000001
0012 L=250
0013 WRITE(1,*)'GRADO DE LA ECUACION ?'
0014
0015 READ(1,*)NC
0016 DO 10 I=1,NC
0017 WRITE(1,*)'DAME EL COEFCIENTE X ',NC-I
0018 10 READ(1,*)A(I)
0019 P=-30.0
0020 Q=250.0
0021 WRITE(1,*)'EL GRADO DEL POLNOMIO ES :',NC
0022 DO 20 I=1,NC
0023 20 WRITE(1,*)'X ',NC-I,'=',A(I)
0024 GO TO 330
0025 999 DO 40 I=1,NC
0026 IF(ABS(R(I)).GT.0.00001)GO TO 250
0027 R(I)=0.0
0028 250 IF(ABS(T(I)).GT.0.00001)GO TO 270
0029 T(I)=0.0
0030 270 FALSO=0.0
0031 40 CONTINUE
0032 WRITE(1,*)'LAS RAICES DEL POLINOMIO SON '
0033 WRITE(1,*)' PARTE REAL PARTE IMAGINARIA'
0034 DO 50 I=1,NC
0035 50 WRITE(1,*)'X('',I,'')= ',R(I),'
0036 GO TO 998 ',T(I)
0037 330 IW=6
0038 NUM=0
0039 M=0
0040 J=1
0041 GO TO 490
0042 380 P=-2.0
0043 Q=-2.0
0044 GO TO 490
0045 410 P=2.0
0046 Q=-2.0
0047 GO TO 490
0048 440 P=5.0
0049 Q=5.0
0050 GO TO 490
0051 470 P=-5.0
0052 Q=-5.0
0053 490 PZ=P
0054 QZ=Q
0055 LL=0
0056 N=NC-2*M
0057 NNN=N-2
0058 IF((N-2).LT.0)GO TO 560
```

```

0059      IF((N-2).EQ.0)GO TO 590
0060      IF((N-2).GT.0)GO TO 790
0061  560  R(J)=-A(1)
0062      T(J)=0.0
0063      GO TO 2000
0064  590  RA=A(1)*A(1)-4*A(2)
0065      IF(RA.LT.0.0)GO TO 630
0066      IF(RA.EQ.0.0)GO TO 680
0067      IF(RA.GT.0.0)GO TO 730
0068  630  RAD=SQRT(-RA)
0069      R(J)=-A(1)/2
0070      R(J+1)=-A(1)/2
0071      T(J)=RAD/2
0072      T(J+1)=-RAD/2
0073      GO TO 2000
0074  680  R(J)=-A(1)/2
0075      R(J+1)=-A(1)/2
0076      T(J)=0.0
0077      T(J+1)=0.0
0078      GO TO 2000
0079  730  RAD=SQRT(RA)
0080      R(J)=(RAD-A(1))/2
0081      R(J+1)=(-A(1)-RAD)/2
0082      T(J)=0.0
0083      T(J+1)=0.0
0084      GO TO 2000
0085  790  B(1)=A(1)-PZ
0086      B(2)=A(2)-PZ*B(1)-QZ
0087      DO 60 K=3,N
0088  60   B(K)=A(K)-PZ*B(K-1)-QZ*B(K-2)
0089      NM1=N-1
0090      C(1)=B(1)-PZ
0091      C(2)=B(2)-PZ*C(1)-QZ
0092      C(3)=B(3)-PZ*C(2)-QZ*C(1)
0093      IF(N.EQ.3)GO TO 920
0094      DO 70 K=3,NM1
0095  70   C(K)=B(K)-PZ*C(K-1)-QZ*C(K-2)
0096  920  CMB=C(NM1)-B(NM1)
0097      IF(N.NE.3)GO TO 960
0098      DEN=C(N-2)**2-CMB
0099      GO TO 970
0100  960  DEN=C(N-2)**2-CMB*C(N-3)
0101  970  IF(DEN.EQ.0.0)GO TO 1100
0102      IF(N.NE.3)GO TO 1010
0103      DELP=(B(N-1)*C(N-2)-B(N))/DEN
0104      GO TO 1020
0105  -1010 DELP=((B(N-1)*C(N-2))-(B(N)*C(N-3)))/DEN
0106  1020 DELQ=((B(N)*C(N-2))-(B(N-1)*CMB))/DEN
0107      PZ=PZ+DELP
0108      QZ=QZ+DELQ
0109      IF(ABS(DELP).GT.0.000001)GO TO 1070
0110      IF(ABS(DELQ).LE.0.000001)GO TO 1250
0111  1070 IF(LL.GT.L)GO TO 1100
0112      LL=LL+1
0113      GO TO 790
0114  1100 NUM=NUM+1
0115      IF(NUM.GT.4)GO TO 1160
0116      IF(NUM.EQ.1)GO TO 380
0117      IF(NUM.EQ.2)GO TO 410
0118      IF(NUM.EQ.3)GO TO 440

```

```

0119          IF(NUM.EQ.4)GO TO 470          ( 209 )
0120 1160     JM1=J-1
0121          IF(JM1.LE.0)GO TO 1230
0122          WRITE(1,*)'NO SE ENCONTRO LA SOLUCION COMPLETA, LAS UNICAS RA
0123          ICES ENCONTRADAS DE LA ECUACION FUERON : '
0124          WRITE(1,*)'PARTE REAL          PARTE IMAGINARIA'
0125          DO 80 K=1,JM1
0126 80       WRITE(1,*)R(K),          ',T(K)'
0127          GO TO 2000
0128 1230     WRITE(1,*)'NO SE ENCONTRARON LAS RAICES DE LA ECUACION'
0129          GO TO 2000
0130 1250     RA=PZ**2-4*QZ
0131          IF(RA.LT.0.0)GO TO 1290
0132          IF(RA.EQ.0.0)GO TO 1340
0133          IF(RA.GT.0.0)GO TO 1390
0134 1290     RAD=SQRT(-RA)
0135          R(J)=-PZ/2
0136          R(J+1)=-PZ/2
0137          T(J)=RAD/2
0138          T(J+1)=-RAD/2
0139          WRITE(1,*)T(J),          ',R(J)'
0140          GO TO 1440
0141 1340     R(J)=-PZ/2
0142          R(J+1)=-PZ/2
0143          T(J)=0.0
0144          T(J+1)=0.0
0145          GO TO 1440
0146 1390     RAD=SQRT(RA)
0147          R(J)=(-PZ+RAD)/2
0148          R(J+1)=(-PZ-RAD)/2
0149          T(J)=0.0
0150          T(J+1)=0.0
0151 1440     M=M+1
0152          J=J+2
0153          NUM=0
0154          P=0.0
0155          Q=0.0
0156          NEWN=NC-2*M
0157          DO 85 K=1,NEWN
0158 85       A(K)=B(K)
0159          GO TO 490
0160 2000     GO TO 999
0161 998     FALSO=0.0
0162          END
0163
0164
0165
0166
0167
0168
0169
0170
0171
0172
0173
0174
0175

```

```

0001 FTN7X,L
0002 $FILES 0,4
0003 $EMA /BEL/
0004 PROGRAM REAC1
0005
0006 C ESTE PROGRAMA OBTIENE LAS REACCIONES GLOBALES DEL SUELO
0007 C POR HUNDIMIENTOS.
0008 C REALIZACION: IVAN SANTACRUZ CHAVANDO.
0009
0010
0011
0012 DIMENSION A(150,150),B(150),C(150),D(150)
0013 DOUBLE PRECISION A,B,C,D
0014 COMMON /BEL/A,B,C,D
0015 CHARACTER * 6 FLEX5,FLEX6,DATO,CIONE
0016 OPEN(10,FILE='FLEX5:130',STATUS='OL',ACCESS='SE')
0017 OPEN(20,FILE='FLEX6:130',STATUS='OL',ACCESS='SE')
0018 OPEN(30,FILE='CIONE:130',ACCESS='SE',STATUS='NE')
0019 OPEN(90,FILE='CIONO:130',ACCESS='SE',STATUS='NE')
0020 DO I=1,150
0021 DO J=1,150
0022 A(I,J)=0.0
0023 END DO
0024 B(I)=0.0
0025 D(I)=0.0
0026 C(I)=0.0
0027 END DO
0028 READ(10,'(A6)')DATO
0029 READ(10,*)N
0030 READ(10,'(A6)')DATO
0031 DO I=1,N
0032 READ(10,*)(A(I,J),J=1,N),B(I)
0033 END DO
0034 READ(20,'(A6)')DATO
0035 READ(20,*)M
0036 READ(20,*)(C(I),I=1,M)
0037 DO I=1,M/3
0038 C(3*I-1)=0.0
0039 C(3*I)=0.0
0040 END DO
0041 DO 40 I=1,N
0042 DO 50 J=1,N
0043 50 D(I)=A(I,J)*C(J)+D(I)
0044 40 D(I)=-0000+D(I)
0045 WRITE(30,21)
0046 21 FORMAT(3(/),10X,'REACCIONES GLOBALES EN LOS NODOS DE LA ESTRUCTU-
0047 1'RA',/,10X,'DEBIDO A HUNDIMIENTOS DEL SUELO',/,10X,50('*'),
0048 15(/),10X,'NODO',10X,'VERTICAL (TON)',10X,'GIRO X(T-M)',10X,
0049 1'GIRO Y',/(T-M)',5(/))
0050 WRITE(90,*)'REACCIONES GLOBALES DEL SUELO POR HUNDIMIENTOS : '
0051 DO I=1,INT(N/3)
0052 WRITE(30,5)I,D(3*I-2),D(3*I-1),D(3*I)
0053 WRITE(90,*)D(3*I-2),',',D(3*I-1),',',D(3*I),',',
0054 5 FORMAT(/,10X,I2,12X,F9.4,15X,F9.4,12X,F9.4,/)
0055 END DO
0056 CLOSE(10)
0057 CLOSE(20)
0058 CLOSE(30)

```


0059
0060

CLOSE(40)
END

(211)

&FL9 T=00004 IS ON CR00021 USING 00006 BLKS R=0000

```

0001 FTN7X,L
0002 $FILES 0,4
0003 $EMA /BEL/
0004 PROGRAM FL9
0005
0006
0007 C ESTE PROGRAMA OBTIENE LOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES DE
0008 C LA ESTRUCTURA.
0009 C REALIZACION: IVAN SANTACRUZ CHAVANDO.
0010
0011
0012 DIMENSION A(150),B(150)
0013 DOUBLE PRECISION A,B
0014 COMMON /BEL/A,B
0015 CHARACTER * 6 DATO,FLEX6,FLE10,FLE12,DESP
0016 OPEN(10,FILE='FLEX6::30',STATUS='OL',ACCESS='SE')
0017 OPEN(20,FILE='FLE10::30',ACCESS='SE',STATUS='NE')
0018 OPEN(40,FILE='DESP::30',ACCESS='SE',STATUS='NE')
0019 DO I=1,150
0020 A(I)=0.0
0021 B(I)=0.0
0022 END DO
0023 READ(10,'(A6)')DATO
0024 READ(10,*)N
0025 READ(10,*)(A(I),I=1,N)
0026 J=0
0027 C DO I=1,N/3
0028 C J=J+1
0029 C A(3*I-1)=B(J)
0030 C J=J+1
0031 C A(3*I)=B(J)
0032 C END DO
0033 WRITE(20,54)
0034 54 FORMAT(///,40X,'DESPLAZAMIENTOS TOTALES DE LA I.',/,40X,32('*')
0035 1,///,25X,'NODO',10X,'VERTICAL (MTS)',8X,'GIRO X(RAD)',9X,
0036 1'GIRO Y (RAD)',/)
0037 DO I=1,INT(N/3)
0038 WRITE(20,11)I,A(3*I-2),A(3*I-1),A(3*I)
0039 11 FORMAT(26X,I3,13X,F6.3,15X,F6.3,15X,F6.3,/)
0040 END DO
0041 WRITE(40,*)'NO.DESP. NODALES FINALES : '
0042 WRITE(40,*)N
0043 DO I=1,INT(N/3)
0044 WRITE(40,*)A(3*I-2),',',A(3*I-1),',',A(3*I),', '
0045 END DO
0046 CLOSE(10)
0047 CLOSE(40)
0048 CLOSE(20)
0049 END

```

ÆMU20 T=00004 IS ON CR00021 USING 00024 BLKS R=0000

```

0001 FTN7X,L
0002 $FILES 0,4
0003 $EMA /BEL/
0004 PROGRAM EMU20
0005
0006
0007 C ESTE PROGRAMA OBTIENE LOS ELEMENTOS MECANICOS DE LA
0008 C INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA,REACCION UNIFORME.
0009 C REALIZACION: IVAN SANTACRUZ CHAVANDO.
0010
0011
0012
0013
0014 DIMENSION B(150,6),C(150,6),A(150),D(3,3),F(3,3),E(150),G(3)
0015 1, IDCB(150),NOMAR(3),O(3,3),VM(50,6),CC(150,12),RE(150)
0016 DOUBLE PRECISION A,B,C,D,F,E,G,O,VM,CC,RE
0017 COMMON /BEL/A,B,C,D,F,E,G,O,MV,CC,RE
0018 CHARACTER * 6 FINA,MECA,FLEX6,DATO
0019 DATA NOMAR /'MECA' /
0020 CALL PURGE(IDCB,IERR,NOMAR)
0021 OPEN(18,FILE='FINA: :30',STATUS='OL',ACCESS='SE')
0022 OPEN(19,FILE='FLEX6: :30',STATUS='OL',ACCESS='SE')
0023 OPEN(25,FILE='MECA: :30',ACCESS='SE',STATUS='NE')
0024 OPEN(26,FILE='MFU: :30',ACCESS='SE',STATUS='OL')
0025 DO I=1,150
0026 DO J=1,6
0027 B(I,J)=0.0
0028 C(I,J)=0.0
0029 END DO
0030 RE(I)=0.0
0031 A(I)=0.0
0032 E(I)=0.0
0033 END DO
0034 DO I=1,3
0035 DO J=1,3
0036 O(I,J)=0.0
0037 D(I,J)=0.0
0038 F(I,J)=0.0
0039 G(I)=0.0
0040 END DO
0041 END DO
0042 DO I=1,150
0043 DO J=1,12
0044 CC(I,J)=0.0
0045 END DO
0046 END DO
0047 DO I=1,50
0048 DO J=1,6
0049 VM(I,J)=0.0
0050 END DO
0051 END DO
0052 READ(26, '(A6)')DATO
0053 READ(26,*)N
0054 DO I=1,N
0055 READ(26,*)(CC(I,J),J=1,12)
0056 END DO
0057 WRITE(25,99)
0058 99 FORMAT(//,15X,'ELEMENTOS MECANICOS EN COORDENADAS LOCALES',

```

(214)

```
0059 1, ' POR INTERACCION S.E.', //,
0060 115X, 62(' *'), ///, 25X, ' BARRA', 08X, ' CORTANTE (ton)', 08X, ' TORSION'
0061 1, ' (t-m)', 08X, ' FLEXION (t-m)', ///)
0062 READ(18, '(A6)') DATO
0063 READ(18, *) NN
0064 READ(18, '(A6)') DATO
0065 READ(18, *) N
0066 READ(18, '(A6)') DATO
0067 DO I=1, N
0068 READ(18, *) B(I, 1), B(I, 2), B(I, 3), B(I, 4)
0069 END DO
0070 READ(18, '(A6)') DATO
0071 READ(18, *) NB
0072 READ(18, '(A6)') DATO
0073 DO I=1, NB
0074 READ(18, *) C(I, 1), C(I, 2), C(I, 3), C(I, 4), C(I, 5), C(I, 6)
0075 END DO
0076 READ(18, '(A6)') DATO
0077 DO I=1, NB
0078 READ(18, *) VM(I, 1), VM(I, 2), VM(I, 3), VM(I, 4), VM(I, 5), VM(I, 6)
0079 END DO
0080 READ(19, '(A6)') DATO
0081 READ(19, *) XX
0082 READ(19, *) (E(I), I=1, 3*NN)
0083 READ(19, '(A6)') DATO
0084 READ(19, '(A6)') DATO
0085 DO I=1, XX/3
0086 READ(19, *) FALSO, RE(I)
0087 END DO
0088 DO 10 I=1, NB
0089 DO J=1, 3
0090 DO K=1, 3
0091 Q(J, K)=0.0
0092 END DO
0093 G(J)=0.0
0094 END DO
0095 D(1, 1)=12*B(C(I, 3), 1)*B(C(I, 3), 2)/C(I, 4)**3
0096 D(1, 3)=6*B(C(I, 3), 1)*B(C(I, 3), 2)/C(I, 4)**2
0097 D(2, 2)=B(C(I, 3), 3)*B(C(I, 3), 4)/C(I, 4)
0098 D(3, 1)=D(1, 3)
0099 D(3, 3)=4*B(C(I, 3), 1)*B(C(I, 3), 2)/C(I, 4)
0100 F(1, 1)=1
0101 F(2, 2)=C(I, 5)
0102 F(2, 3)=C(I, 6)
0103 F(3, 2)=-C(I, 6)
0104 F(3, 3)=C(I, 5)
0105 DO 20 J=1, 3
0106 DO 30 L=1, 3
0107 DO 40 K=1, 3
0108 40 Q(J, L)=D(J, K)*F(K, L)+Q(J, L)
0109 30 CONTINUE
0110 20 CONTINUE
0111 DO K=1, 3
0112 DO L=1, 3
0113 G(K)=O(K, L)*E(C(I, 1))*3-3+L)+G(K)
0114 END DO
0115 END DO
0116 D(1, 1)=-D(1, 1)
0117 D(1, 3)=-D(1, 3)
0118 D(3, 1)=-D(3, 1)
```

```

0119      D(3,3)=-D(3,3)/2      ( 215 )
0120      F(2,2)=-F(2,2)
0121      F(2,3)=-F(2,3)
0122      F(3,2)=-F(3,2)
0123      F(3,3)=-F(3,3)
0124      DO J=1,3
0125      DO K=1,3
0126      O(J,K)=0.0
0127      END DO
0128      END DO
0129      DO J=1,3
0130      DO L=1,3
0131      DO K=1,3
0132      O(J,L)=D(J,K)*F(K,L)+O(J,L)
0133      END DO
0134      END DO
0135      END DO
0136      DO K=1,3
0137      DO L=1,3
0138      G(K)=O(K,L)*E(C(I,2)*3-3+L)+G(K)
0139      END DO
0140      END DO
0141      G(1)=-VM(I,1)+G(1)-CC(I,1)*RE(C(I,1))-CC(I,2)*RE(C(I,2))
0142      G(2)=-VM(I,2)+G(2)-CC(I,3)*RE(C(I,1))-CC(I,4)*RE(C(I,2))
0143      G(3)=-VM(I,3)+G(3)-CC(I,5)*RE(C(I,1))-CC(I,6)*RE(C(I,2))
0144      WRITE(25,98)C(I,1),C(I,2),G(1),G(2),G(3)
0145 98      FORMAT(23X,I2,' - ',I2,7X,F10.3,11X,F10.3,11X,F10.3,/)
0146      DO J=1,3
0147      G(J)=0.0
0148      END DO
0149      D(1,1)=-D(1,1)
0150      D(1,3)=-D(1,3)
0151      D(3,1)=-D(3,1)
0152      D(3,3)=-D(3,3)*2
0153      DO J=1,3
0154      DO L=1,3
0155      DO K=1,3
0156      G(J)=D(J,K)*F(K,L)*E(C(I,2)*3-3+L)+G(J)
0157      END DO
0158      END DO
0159      END DO
0160      D(1,1)=-D(1,1)
0161      D(1,3)=-D(1,3)
0162      D(3,1)=-D(3,1)
0163      D(3,3)=-D(3,3)/2
0164      F(2,2)=-F(2,2)
0165      F(2,3)=-F(2,3)
0166      F(3,2)=-F(3,2)
0167      F(3,3)=-F(3,3)
0168      DO J=1,3
0169      DO L=1,3
0170      DO K=1,3
0171      G(J)=D(J,K)*F(K,L)*E(C(I,1)*3-3+L)+G(J)
0172      END DO
0173      END DO
0174      END DO
0175      G(1)=G(1)-VM(I,4)-CC(I,7)*RE(C(I,1))-CC(I,8)*RE(C(I,2))
0176      G(2)=G(2)-VM(I,5)-CC(I,9)*RE(C(I,1))-CC(I,10)*RE(C(I,2))
0177      G(3)=G(3)-VM(I,6)-CC(I,11)*RE(C(I,1))-CC(I,12)*RE(C(I,2))
0178      WRITE(25,98)C(I,2),C(I,1),G(1),G(2),G(3)

```

```
0179 10 CONTINUE  
0180 CLOSE(18) ( 216 )  
0181 CLOSE(19)  
0182 CLOSE(25)  
0183 CLOSE(26)  
0184 END
```

EMECA T=00004 IS ON CR00021 USING 00018 BLKS R=0000

```

0001  FTN7X,L
0002  $FILES 0,3
0003  $EMA /BEL/
0004  PROGRAM EMECA
0005
0006
0007  C   ESTE PROGRAMA OBTIENE LOS ELEMENTOS MECANICOS DEBIDOS
0008  C   A HUNDIMIENTOS DE LA ESTRUCTURA (REACC. UNIFORME).
0009  C   REALIZACION: IVAN SANTACRUZ CHAVANDO.
0010
0011
0012
0013
0014  DIMENSION B(150,6),C(150,6),A(150),D(3,3),F(3,3),E(150),G(3)
0015  1,IDCB(150),NOMAR(3),O(3,3),VM(50,6)
0016  DOUBLE PRECISION A,B,C,D,F,E,G,O,VM
0017  COMMON /BEL/A,B,C,D,F,E,G,O,MV
0018  CHARACTER * 6 FINA,MECE,FLEX6,DATO
0019  DATA NOMAR /'MECE' /
0020  CALL PURGE(IDCB,IERR,NOMAR)
0021  OPEN(18,FILE='FINA:30',STATUS='OL',ACCESS='SE')
0022  OPEN(19,FILE='FLEX6:30',STATUS='OL',ACCESS='SE')
0023  OPEN(25,FILE='MECE:30',ACCESS='SE',STATUS='NE')
0024  DO I=1,150
0025  DO J=1,6
0026  B(I,J)=0.0
0027  C(I,J)=0.0
0028  END DO
0029  A(I)=0.0
0030  E(I)=0.0
0031  END DO
0032  DO I=1,3
0033  DO J=1,3
0034  O(I,J)=0.0
0035  D(I,J)=0.0
0036  F(I,J)=0.0
0037  END DO
0038  G(I)=0.0
0039  END DO
0040  DO I=1,50
0041  DO J=1,6
0042  VM(I,J)=0.0
0043  END DO
0044  END DO
0045  WRITE(25,99)
0046  99  FORMAT(//,14X,'ELEMENTOS MECANICOS EN COORDENADAS LOCALES',1X,
0047  1'DEBIDO A HUNDIMIENTOS',/,
0048  114X,62('*'),///,25X,'BARRA',08X,'CORTANTE (ton)',08X,'TORSION'
0049  1,' (t-m)',08X,'FLEXION (t-m)',//)
0050  READ(18,'(A6)')DATO
0051  READ(18,*)NN
0052  READ(18,'(A6)')DATO
0053  READ(18,*)N
0054  READ(18,'(A6)')DATO
0055  DO I=1,N
0056  READ(18,*)B(I,1),B(I,2),B(I,3),B(I,4)
0057  END DO
0058  READ(18,'(A6)')DATO

```

```

0059      READ(18,*)NB              ( 218 )
0060      READ(18,'(A6)')DATO
0061      DO I=1,NB
0062      READ(18,*)C(I,1),C(I,2),C(I,3),C(I,4),C(I,5),C(I,6)
0063      END DO
0064      READ(18,'(A6)')DATO
0065      READ(19,'(A6)')DATO
0066      READ(19,*)XX
0067      READ(19,*)(E(I),I=1,3*NN)
0068      DO I=1,3*NN
0069      E(3*I-1)=0.0
0070      E(3*I)=0.0
0071      END DO
0072      DO 10 I=1,NB
0073      DO J=1,3
0074      DO K=1,3
0075      O(J,K)=0.0
0076      END DO
0077      G(J)=0.0
0078      END DO
0079      D(1,1)=12*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)/C(I,4)**3
0080      D(1,3)=6*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)/C(I,4)**2
0081      D(2,2)=B(C(I,3),3)*B(C(I,3),4)/C(I,4)
0082      D(3,1)=D(1,3)
0083      D(3,3)=4*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)/C(I,4)
0084      F(1,1)=1
0085      F(2,2)=C(I,5)
0086      F(2,3)=C(I,6)
0087      F(3,2)=-C(I,6)
0088      F(3,3)=C(I,5)
0089      DO 20 J=1,3
0090      DO 30 L=1,3
0091      DO 40 K=1,3
0092      40 O(J,L)=D(J,K)*F(K,L)+O(J,L)
0093      30 CONTINUE
0094      20 CONTINUE
0095      DO K=1,3
0096      DO L=1,3
0097      G(K)=O(K,L)*E(C(I,1)*3-3+L)+G(K)
0098      END DO
0099      END DO
0100      D(1,1)=-D(1,1)
0101      D(1,3)=-D(1,3)
0102      D(3,1)=-D(3,1)
0103      D(3,3)=-D(3,3)/2
0104      F(2,2)=-F(2,2)
0105      F(2,3)=-F(2,3)
0106      F(3,2)=-F(3,2)
0107      F(3,3)=-F(3,3)
0108      DO J=1,3
0109      DO K=1,3
0110      O(J,K)=0.0
0111      END DO
0112      END DO
0113      DO J=1,3
0114      DO L=1,3
0115      DO K=1,3
0116      O(J,L)=D(J,K)*F(K,L)+O(J,L)
0117      END DO
0118      END DO

```



```

0119      END DO
0120      DO K=1,3
0121      DO L=1,3
0122      G(K)=O(K,L)*E(C(I,2)*3-3+L)+G(K)
0123      END DO
0124      END DO
0125      G(1)=-VM(I,1)+G(1)
0126      G(2)=-VM(I,2)+G(2)
0127      G(3)=-VM(I,3)+G(3)
0128      WRITE(25,98)C(I,1),C(I,2),G(1),G(2),G(3)
0129  98    FORMAT(23X,I2,' - ',I2,7X,F10.3,11X,F10.3,11X,F10.3,/)
0130      DO J=1,3
0131      G(J)=0.0
0132      END DO
0133      D(1,1)=-D(1,1)
0134      D(1,3)=-D(1,3)
0135      D(3,1)=-D(3,1)
0136      D(3,3)=-D(3,3)*2
0137      DO J=1,3
0138      DO L=1,3
0139      DO K=1,3
0140      G(J)=D(J,K)*F(K,L)*E(C(I,2)*3-3+L)+G(J)
0141      END DO
0142      END DO
0143      END DO
0144      D(1,1)=-D(1,1)
0145      D(1,3)=-D(1,3)
0146      D(3,1)=-D(3,1)
0147      D(3,3)=-D(3,3)/2
0148      F(2,2)=-F(2,2)
0149      F(2,3)=-F(2,3)
0150      F(3,2)=-F(3,2)
0151      F(3,3)=-F(3,3)
0152      DO J=1,3
0153      DO L=1,3
0154      DO K=1,3
0155      G(J)=D(J,K)*F(K,L)*E(C(I,1)*3-3+L)+G(J)
0156      END DO
0157      END DO
0158      END DO
0159      G(1)=G(1)-VM(I,4)
0160      G(2)=G(2)-VM(I,5)
0161      G(3)=G(3)-VM(I,6)
0162      WRITE(25,98)C(I,2),C(I,1),G(1),G(2),G(3)
0163  10    CONTINUE
0164      CLOSE(18)
0165      CLOSE(19)
0166      CLOSE(25)
0167      END

```

```

0001 FTN7X,L
0002 $FILES 0,3
0003 $EMA /BEL/
0004 PROGRAM EMECC
0005
0006
0007 C ESTE PROGRAMA OBTIENE LOS ELEMENTOS MECANICOS DE LA
0008 C ESTRUCTURA DEBIDO A GIROS (POR INTERACCION SUELO-ESTRUCUTRURA)
0009 C EN REACCION UNIFORME
0010 C REALIZACION: IVAN SANTACRUZ CHAVANDO.
0011
0012
0013
0014
0015
0016 DIMENSION B(150,6),C(150,6),A(150),D(3,3),F(3,3),E(150),G(3)
0017 1,IDCB(150),NOMAR(3),O(3,3),VM(50,6)
0018 DOUBLE PRECISION A,B,C,D,F,E,G,O,VM
0019 COMMON /BEL/A,B,C,D,F,E,G,O,MV
0020 CHARACTER * 6 FINA,MECI,DESP,DATO
0021 DATA NOMAR /'MECI' //
0022 CALL PURGE(IDCB,IERR,NOMAR)
0023 OPEN(18,FILE='FINA::30',STATUS='OL',ACCESS='SE')
0024 OPEN(19,FILE='DESP::30',STATUS='OL',ACCESS='SE')
0025 OPEN(25,FILE='MECI::30',ACCESS='SE',STATUS='NE')
0026 DO I=1,150
0027 DO J=1,6
0028 B(I,J)=0.0
0029 C(I,J)=0.0
0030 END DO
0031 A(I)=0.0
0032 E(I)=0.0
0033 END DO
0034 DO I=1,3
0035 DO J=1,3
0036 O(I,J)=0.0
0037 D(I,J)=0.0
0038 F(I,J)=0.0
0039 END DO
0040 G(I)=0.0
0041 END DO
0042 DO I=1,50
0043 DO J=1,6
0044 VM(I,J)=0.0
0045 END DO
0046 END DO
0047 WRITE(25,99)
0048 99 FORMAT(//,20X,'ELEMENTOS MECANICOS EN COORDENADAS LOCALES',
0049 11X,' POR GIROS',//,
0050 120X,60('X'),///,25X,'BARRA',08X,'CORTANTE (ton)',08X,'TORSION'
0051 1,' (t-m)',08X,'FLEXION (t-m)',//)
0052 READ(18,'(A6)')DATO
0053 READ(18,*)NN
0054 READ(18,'(A6)')DATO
0055 READ(18,*)N
0056 READ(18,'(A6)')DATO
0057 DO I=1,N
0058 READ(18,*)B(I,1),B(I,2),B(I,3),B(I,4)

```

```

0059          END DO                      ( 221 )
0060      READ(18,'(A6)')DATO
0061      READ(18,*)NB
0062      READ(18,'(A6)')DATO
0063      DO I=1,NB
0064      READ(18,*)C(I,1),C(I,2),C(I,3),C(I,4),C(I,5),C(I,6)
0065      END DO
0066      READ(18,'(A6)')DATO
0067      DO I=1,NB
0068      READ(18,*)VM(I,1),VM(I,2),VM(I,3),VM(I,4),VM(I,5),VM(I,6)
0069      END DO
0070      READ(19,'(A6)')DATO
0071      READ(19,*)XX
0072      READ(19,*)(E(I),I=1,3*NN)
0073      DO I=1,NN
0074      E(3*I-2)=0.0
0075      E(3*I-1)=0.0
0076      END DO
0077      DO I=1,NN
0078      E(3*I-2)=0.0
0079      END DO
0080      DO 10 I=1,NB
0081      DO J=1,3
0082      DO K=1,3
0083      O(J,K)=0.0
0084      END DO
0085      G(J)=0.0
0086      END DO
0087      D(1,1)=12*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)/C(I,4)**3
0088      D(1,3)=6*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)/C(I,4)**2
0089      D(2,2)=B(C(I,3),3)*B(C(I,3),4)/C(I,4)
0090      D(3,1)=D(1,3)
0091      D(3,3)=4*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)/C(I,4)
0092      F(1,1)=1
0093      F(2,2)=C(I,5)
0094      F(2,3)=C(I,6)
0095      F(3,2)=-C(I,6)
0096      F(3,3)=C(I,5)
0097      DO 20 J=1,3
0098      DO 30 L=1,3
0099      DO 40 K=1,3
0100      40  O(J,L)=D(J,K)*F(K,L)+O(J,L)
0101      30  CONTINUE
0102      20  CONTINUE
0103      DO K=1,3
0104      DO L=1,3
0105      G(K)=O(K,L)*E(C(I,1)*3-3+L)+G(K)
0106      END DO
0107      END DO
0108      D(1,1)=-D(1,1)
0109      D(1,3)=-D(1,3)
0110      D(3,1)=-D(3,1)
0111      D(3,3)=-D(3,3)/2
0112      F(2,2)=-F(2,2)
0113      F(2,3)=-F(2,3)
0114      F(3,2)=-F(3,2)
0115      F(3,3)=-F(3,3)
0116      DO J=1,3
0117      DO K=1,3
0118      O(J,K)=0.0

```

```

0119      END DO                      ( 222 )
0120      END DO
0121      DO J=1,3
0122      DO L=1,3
0123      DO K=1,3
0124      O(J,L)=D(J,K)*F(K,L)+O(J,L)
0125      END DO
0126      END DO
0127      END DO
0128      DO K=1,3
0129      DO L=1,3
0130      G(K)=O(K,L)*E(C(I,2)*3-3+L)+G(K)
0131      END DO
0132      END DO
0133      G(1)=-VM(I,1)+G(1)
0134      G(2)=-VM(I,2)+G(2)
0135      G(3)=-VM(I,3)+G(3)
0136      WRITE(25,98)C(I,1),C(I,2),G(1),G(2),G(3)
0137  98    FORMAT(23X,I2,' - ',I2,7X,F10.3,11X,F10.3,11X,F10.3,/)
0138      DO J=1,3
0139      G(J)=0.0
0140      END DO
0141      D(1,1)=-D(1,1)
0142      D(1,3)=-D(1,3)
0143      D(3,1)=-D(3,1)
0144      D(3,3)=-D(3,3)*2
0145      DO J=1,3
0146      DO L=1,3
0147      DO K=1,3
0148      G(J)=D(J,K)*F(K,L)*E(C(I,2)*3-3+L)+G(J)
0149      END DO
0150      END DO
0151      END DO
0152      D(1,1)=-D(1,1)
0153      D(1,3)=-D(1,3)
0154      D(3,1)=-D(3,1)
0155      D(3,3)=-D(3,3)/2
0156      F(2,2)=-F(2,2)
0157      F(2,3)=-F(2,3)
0158      F(3,2)=-F(3,2)
0159      F(3,3)=-F(3,3)
0160      DO J=1,3
0161      DO L=1,3
0162      DO K=1,3
0163      G(J)=D(J,K)*F(K,L)*E(C(I,1)*3-3+L)+G(J)
0164      END DO
0165      END DO
0166      END DO
0167      G(1)=G(1)-VM(I,4)
0168      G(2)=G(2)-VM(I,5)
0169      G(3)=G(3)-VM(I,6)
0170      WRITE(25,98)C(I,2),C(I,1),G(1),G(2),G(3)
0171  10    CONTINUE
0172      CLOSE(18)
0173      CLOSE(19)
0174      CLOSE(25)
0175      END

```

AMECD T=00004 IS ON CR00021 USING 00018 BLKS R=0000

```

0001 FTN7X,L
0002 $FILES 0,3
0003 $EMA /BEL/
0004 PROGRAM EMECD
0005
0006
0007 C ESTE PROGRAMA OBTIENE LOS ELEMENTOS MECANICOS DE LA
0008 C ESTRUCTURA DEBIDOS AL EFECTO DE TORSION EN LOS NUDOS.
0009 C REALIZACION: IVAN SANTACRUZ CHAVANDO.
0010
0011
0012
0013
0014 DIMENSION B(150,6),C(150,6),A(150),D(3,3),F(3,3),E(150),G(3)
0015 1,IDCB(150),NOMAR(3),O(3,3),VM(50,6)
0016 DOUBLE PRECISION A,B,C,D,F,E,G,O,VM
0017 COMMON /BEL/A,B,C,D,F,E,G,O,MV
0018 CHARACTER * 6 FINA,MECO,DESP,DATO
0019 DATA NOMAR //MECO //
0020 CALL PURGE(IDCB,IEERR,NOMAR)
0021 OPEN(18,FILE='FINA::30',STATUS='OL',ACCESS='SE')
0022 OPEN(19,FILE='DESP::30',STATUS='OL',ACCESS='SE')
0023 OPEN(25,FILE='MECO::30',ACCESS='SE',STATUS='NE')
0024 DO I=1,150
0025 DO J=1,6
0026 B(I,J)=0.0
0027 C(I,J)=0.0
0028 END DO
0029 A(I)=0.0
0030 E(I)=0.0
0031 END DO
0032 DO I=1,3
0033 DO J=1,3
0034 O(I,J)=0.0
0035 D(I,J)=0.0
0036 F(I,J)=0.0
0037 END DO
0038 G(I)=0.0
0039 END DO
0040 DO I=1,50
0041 DO J=1,6
0042 VM(I,J)=0.0
0043 END DO
0044 END DO
0045 WRITE(25,99)
0046 99 FORMAT(//,10X,'ELEMENTOS MECANICOS EN COORDENADAS LOCALES',
0047 1,' POR TORSION EN LOS NUDOS',//,
0048 110X,68(' '),///,25X,'BARRA',08X,'CORTANTE (ton)',08X,'TORSION'
0049 1,' (t-m)',08X,'FLEXION (t-m)',//)
0050 READ(18,'(A6)')DATO
0051 READ(18,*)NN
0052 READ(18,'(A6)')DATO
0053 READ(18,*)N
0054 READ(18,'(A6)')DATO
0055 DO J=1,N
0056 READ(18,*)B(I,1),B(I,2),B(I,3),B(I,4)
0057 END DO
0058 READ(18,'(A6)')DATO

```

```

0059      READ(18,*)NB
0060      READ(18,'(A6)')DATO
0061      DO I=1,NB
0062      READ(18,*)C(I,1),C(I,2),C(I,3),C(I,4),C(I,5),C(I,6)
0063      END DO
0064      READ(19,'(A6)')DATO
0065      READ(19,*)XX
0066      READ(19,*)(E(I),I=1,3*NN)
0067      DO I=1,NN
0068      E(3*I-2)=0.0
0069      E(3*I)=0.0
0070      END DO
0071      DO 10 I=1,NB
0072      DO J=1,3
0073      DO K=1,3
0074      O(J,K)=0.0
0075      END DO
0076      G(J)=0.0
0077      END DO
0078      D(1,1)=12*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)/C(I,4)**3
0079      D(1,3)=6*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)/C(I,4)**2
0080      D(2,2)=B(C(I,3),3)*B(C(I,3),4)/C(I,4)
0081      D(3,1)=D(1,3)
0082      D(3,3)=4*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)/C(I,4)
0083      F(1,1)=1
0084      F(2,2)=C(I,5)
0085      F(2,3)=C(I,6)
0086      F(3,2)=-C(I,6)
0087      F(3,3)=C(I,5)
0088      DO 20 J=1,3
0089      DO 30 L=1,3
0090      DO 40 K=1,3
0091      40 O(J,L)=D(J,K)*F(K,L)+O(J,L)
0092      30 CONTINUE
0093      20 CONTINUE
0094      DO K=1,3
0095      DO L=1,3
0096      G(K)=O(K,L)*E(C(I,1)*3-3+L)+G(K)
0097      END DO
0098      END DO
0099      D(1,1)=-D(1,1)
0100      D(1,3)=-D(1,3)
0101      D(3,1)=-D(3,1)
0102      D(3,3)=-D(3,3)/2
0103      F(2,2)=-F(2,2)
0104      F(2,3)=-F(2,3)
0105      F(3,2)=-F(3,2)
0106      F(3,3)=-F(3,3)
0107      DO J=1,3
0108      DO K=1,3
0109      O(J,K)=0.0
0110      END DO
0111      END DO
0112      DO J=1,3
0113      DO L=1,3
0114      DO K=1,3
0115      O(J,L)=D(J,K)*F(K,L)+O(J,L)
0116      END DO
0117      END DO
0118      END DO

```

```

                                ( 225 )
0119      DO K=1,3
0120      DO L=1,3
0121      G(K)=D(K,L)*E(C(I,2)*3-3+L)+G(K)
0122      END DO
0123      END DO
0124      G(1)=-VM(I,1)+G(1)
0125      G(2)=-VM(I,2)+G(2)
0126      G(3)=-VM(I,3)+G(3)
0127      WRITE(25,98)C(I,1),C(I,2),G(1),G(2),G(3)
0128 98     FORMAT(23X,I2,' - ',I2,7X,F10.3,11X,F10.3,11X,F10.3,/)
0129      DO J=1,3
0130      G(J)=0.0
0131      END DO
0132      D(1,1)=-D(1,1)
0133      D(1,3)=-D(1,3)
0134      D(3,1)=-D(3,1)
0135      D(3,3)=-D(3,3)*2
0136      DO J=1,3
0137      DO L=1,3
0138      DO K=1,3
0139      G(J)=D(J,K)*F(K,L)*E(C(I,2)*3-3+L)+G(J)
0140      END DO
0141      END DO
0142      END DO
0143      D(1,1)=-D(1,1)
0144      D(1,3)=-D(1,3)
0145      D(3,1)=-D(3,1)
0146      D(3,3)=-D(3,3)/2
0147      F(2,2)=-F(2,2)
0148      F(2,3)=-F(2,3)
0149      F(3,2)=-F(3,2)
0150      F(3,3)=-F(3,3)
0151      DO J=1,3
0152      DO L=1,3
0153      DO K=1,3
0154      G(J)=D(J,K)*F(K,L)*E(C(I,1)*3-3+L)+G(J)
0155      END DO
0156      END DO
0157      END DO
0158      G(1)=G(1)-VM(I,4)
0159      G(2)=G(2)-VM(I,5)
0160      G(3)=G(3)-VM(I,6)
0161      WRITE(25,98)C(I,2),C(I,1),G(1),G(2),G(3)
0162 10     CONTINUE
0163      CLOSE(18)
0164      CLOSE(19)
0165      CLOSE(25)
0166      END

```

AMECE T=00004 IS ON CR00021 USING 00018 BLKS R=0000

```

0001 FTN7X,L
0002 $FILES 0,4
0003 $EMA /BEL/
0004 PROGRAM EMECE
0005
0006
0007 C ESTE PROGRAMA OBTIENE LAS FUERZAS EQUIVALENTES DE EM-
0008 C -POTRAMIENTO EN LOS NUDOS DE LA ESTRUCTURA.
0009 C REALIZACION: IVAN SANTACRUZ CHAVANDO.
0010
0011
0012
0013
0014 DIMENSION B(150,6),C(150,6),A(150),D(3,3),F(3,3),E(150),G(3)
0015 1,IDCB(150),NOMAR(3),O(3,3),VM(50,6),CC(100,12)
0016 DOUBLE PRECISION A,B,C,D,F,E,G,O,VM,CC
0017 COMMON /BEL/A,B,C,D,F,E,G,O,MV,CC
0018 CHARACTER * 6 FINA,MECU,DESP,DATO
0019 DATA NOMAR /'MECU' /
0020 CALL PURGE(IDCB,IEERR,NOMAR)
0021 OPEN(18,FILE='FINA: :30',STATUS='OL',ACCESS='SE')
0022 OPEN(17,FILE='FLEX6: :30',STATUS='OL',ACCESS='SE')
0023 OPEN(19,FILE='MFU: :30',STATUS='OL',ACCESS='SE')
0024 OPEN(25,FILE='MECU: :30',ACCESS='SE',STATUS='NE')
0025 DO I=1,150
0026 DO J=1,6
0027 B(I,J)=0.0
0028 C(I,J)=0.0
0029 END DO
0030 A(I)=0.0
0031 E(I)=0.0
0032 END DO
0033 DO I=1,3
0034 DO J=1,3
0035 O(I,J)=0.0
0036 D(I,J)=0.0
0037 F(I,J)=0.0
0038 END DO
0039 G(I)=0.0
0040 END DO
0041 DO I=1,100
0042 DO J=1,12
0043 CC(I,J)=0.0
0044 END DO
0045 END DO
0046 DO I=1,50
0047 DO J=1,6
0048 VM(I,J)=0.0
0049 END DO
0050 END DO
0051 READ(19,'(A6)')DATO
0052 READ(19,*)N
0053 DO I=1,N
0054 READ(19,*)(CC(I,J),J=1,12)
0055 END DO
0056 WRITE(25,99)
0057 99 FORMAT(//,10X,'ELEMENTOS MECANICOS EN COORDENADAS LOCALES',
0058 1,' POR FUERZAS EQUIVALENTES',/,

```


(227)

```
0059 110X,68('X'),///,25X,'BARRA',08X,'CORTANTE (ton)',08X,'TORSION'  
0060 1,'(t-m)',08X,'FLEXION (t-m)',///  
0061 READ(18,'(A6)')DATO  
0062 READ(18,*)NN  
0063 READ(18,'(A6)')DATO  
0064 READ(18,*)N  
0065 READ(18,'(A6)')DATO  
0066 DO I=1,N  
0067 READ(18,*)B(I,1),B(I,2),B(I,3),B(I,4)  
0068 END DO  
0069 READ(18,'(A6)')DATO  
0070 READ(18,*)NB  
0071 READ(18,'(A6)')DATO  
0072 DO I=1,NB  
0073 READ(18,*)C(I,1),C(I,2),C(I,3),C(I,4),C(I,5),C(I,6)  
0074 END DO  
0075 READ(18,'(A6)')DATO  
0076 DO I=1,NB  
0077 READ(18,*)VM(I,1),VM(I,2),VM(I,3),VM(I,4),VM(I,5),VM(I,6)  
0078 END DO  
0079 READ(17,'(A6)')DATO  
0080 READ(17,*)XX  
0081 READ(17,*)(E(I),I=1,3*NN)  
0082 DO I=1,100  
0083 E(I)=0.0  
0084 END DO  
0085 READ(17,'(A6)')DATO  
0086 READ(17,'(A6)')DATO  
0087 DO I=1,XX/3  
0088 READ(17,*)FALSO,E(I)  
0089 END DO  
0090 DO 10 I=1,NB  
0091 DO J=1,3  
0092 DO K=1,3  
0093 O(J,K)=0.0  
0094 END DO  
0095 G(J)=0.0  
0096 END DO  
0097 D(1,1)=12*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)/C(I,4)**3  
0098 D(1,3)=6*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)/C(I,4)**2  
0099 D(2,2)=B(C(I,3),3)*B(C(I,3),4)/C(I,4)  
0100 D(3,1)=D(1,3)  
0101 D(3,3)=4*B(C(I,3),1)*B(C(I,3),2)/C(I,4)  
0102 F(1,1)=1  
0103 F(2,2)=C(I,5)  
0104 F(2,3)=C(I,6)  
0105 F(3,2)=-C(I,6)  
0106 F(3,3)=C(I,5)  
0107 DO 20 J=1,3  
0108 DO 30 L=1,3  
0109 DO 40 K=1,3  
0110 40 O(J,L)=D(J,K)*F(K,L)+O(J,L)  
0111 30 CONTINUE  
0112 20 CONTINUE  
0113 D(1,1)=-D(1,1)  
0114 D(1,3)=-D(1,3)  
0115 D(3,1)=-D(3,1)  
0116 D(3,3)=-D(3,3)/2  
0117 F(2,2)=-F(2,2)  
0118 F(2,3)=-F(2,3)
```

```

0119          F(3,2)=-F(3,2)          ( 228 )
0120          F(3,3)=-F(3,3)
0121          DO J=1,3
0122          DO K=1,3
0123          O(J,K)=0.0
0124          END DO
0125          END DO
0126          DO J=1,3
0127          DO L=1,3
0128          DO K=1,3
0129          O(J,L)=D(J,K)*F(K,L)+O(J,L)
0130          END DO
0131          END DO
0132          END DO
0133          G(1)=-VM(I,1)+G(1)-CC(I,1)*E(C(I,1))-CC(I,2)*E(C(I,2))
0134          G(2)=-VM(I,2)+G(2)-CC(I,3)*E(C(I,1))-CC(I,4)*E(C(I,2))
0135          G(3)=-VM(I,3)+G(3)-CC(I,5)*E(C(I,1))-CC(I,6)*E(C(I,2))
0136          WRITE(25,98)C(I,1),C(I,2),G(1),G(2),G(3)
0137 98          FORMAT(23X,I2,' - ',I2,7X,F10.3,11X,F10.3,11X,F10.3,/)
0138          DO J=1,3
0139          G(J)=0.0
0140          END DO
0141          D(1,1)=-D(1,1)
0142          D(1,3)=-D(1,3)
0143          D(3,1)=-D(3,1)
0144          D(3,3)=-D(3,3)*2
0145          D(1,1)=-D(1,1)
0146          D(1,3)=-D(1,3)
0147          D(3,1)=-D(3,1)
0148          D(3,3)=-D(3,3)/2
0149          F(2,2)=-F(2,2)
0150          F(2,3)=-F(2,3)
0151          F(3,2)=-F(3,2)
0152          F(3,3)=-F(3,3)
0153          G(1)=G(1)-VM(I,4)-CC(I,7)*E(C(I,1))-CC(I,8)*E(C(I,2))
0154          G(2)=G(2)-VM(I,5)-CC(I,9)*E(C(I,1))-CC(I,10)*E(C(I,2))
0155          G(3)=G(3)-VM(I,6)-CC(I,11)*E(C(I,1))-CC(I,12)*E(C(I,2))
0156          WRITE(25,98)C(I,2),C(I,1),G(1),G(2),G(3)
0157 10          CONTINUE
0158          CLOSE(18)
0159          CLOSE(19)
0160          CLOSE(25)
0161          CLOSE(17)
0162          END

```

MENU2 T=00004 IS ON CR00030 USING 00004 BLKS R=0000

```

0001 :SV,1,,IH
0002 :RU,M2: :30
0003 :IF,1P,EQ,13,38
0004 :IF,1P,EQ,01,11
0005 :IF,1P,EQ,02,12
0006 :IF,1P,EQ,03,13
0007 :IF,1P,EQ,04,14
0008 :IF,1P,EQ,05,15
0009 :IF,1P,EQ,06,18
0010 :IF,1P,EQ,07,19
0011 :IF,1P,EQ,08,20
0012 :IF,1P,EQ,09,21
0013 :IF,1P,EQ,10,22
0014 :IF,1P,EQ,11,23
0015 :IF,1P,EQ,12,24
0016 :DU,FLEX5: :30,1
0017 :IF,1,EQ,1,-18
0018 :DU,MDFLE: :30,1
0019 :IF,2,EQ,2,-20
0020 :DU,FLEX1: :30,1
0021 :IF,3,EQ,3,-22
0022 :DU,FLEX4: :30,1
0023 :IF,4,EQ,4,-24
0024 :DU,CIGNE: :30,1
0025 :IF,5,EQ,5,-26
0026 :IF,6,EQ,6,-28
0027 :IF,7,EQ,7,-30
0028 :DU,FLE10: :30,1
0029 :IF,8,EQ,8,-32
0030 :DU,MECA: :30,1
0031 :IF,9,EQ,9,-34
0032 :DU,MECE: :30,1
0033 :IF,10,EQ,10,-36
0034 :DU,MECI: :30,1
0035 :IF,11,EQ,11,-38
0036 :DU,MECO: :30,1
0037 :IF,12,EQ,12,-40
0038 :DU,MECU: :30,1
0039 :IF,13,EQ,13,-42
0040 :DU,SALIDA: :30,1
0041 :IF,14,EQ,14,-44
0042 :SV,0
0043 :**
0044 :**
0045 :**
0046 :**
0047 :**
0048 :**
0049 :**
0050 :**
0051 :

```

***** FIN DE PROCESO *****

&M2 T=00004 IS ON CR00021 USING 00016 BLKS R=0000

```

0001 FTN7X,L
0002 PROGRAM M2
0003 INTEGER SAG,CONTROL,ISAG(1)
0004 CONTROL=25018
0005 CALL CLRSC(1)
0006 CALL GTXY(1,22,02)
0007 WRITE(1,*)'INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA: REACCION UNIF. SUELO'
0008 CALL GTXY(1,24,04)
0009 WRITE(1,*)'MENU PRINCIPAL'
0010 CALL GTXY(1,00,06)
0011 WRITE(1,*)'01) MATRIZ DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA '
0012 WRITE(1,*)'02) MATRIZ DE FLEXIB. DEL SUELO'
0013 WRITE(1,*)'03) ECUACION MATRICIAL SUELO-ESTRUCTURA'
0014 WRITE(1,*)'04) DESPLAZAMIENTOS GLOBALES NODALES Y REACC. SUELO'
0015 WRITE(1,*)'05) REACCIONES GLOBALES DEL SUELO POR HUNDIMIENTOS'
0016 WRITE(1,*)'06) DESPLAZAMIENTOS TOTALES DE LA ESTRUCTURA'
0017 WRITE(1,*)'07) ELEMENTOS MECANICOS DE LA INTERACCION SUELO-ESTR'
0018 WRITE(1,*)'08) ELEM. MECANICOS POR HUNDIMIENTOS EN LA ESTRUCTUR'
0019 WRITE(1,*)'09) ELEM. MECAN. POR FLEXION EN LOS NUDOS '
0020 WRITE(1,*)'10) ELEM. MECAN. POR EFECTO DE TORSION EN NUDOS '
0021 WRITE(1,*)'11) ELEM. MECANICOS POR FUERZAS EQUIVALENTES'
0022 WRITE(1,*)'12) IMPRESION DE DATOS DE ANALISIS'
0023 WRITE(1,*)'13) FIN DE PROGRAMA'
0024 10 CALL GTXY(1,49,22)
0025 CALL EXEC(2,CONTROL,20)HTECLEE LA OPCION: , -20)
0026 CALL GTXY(1,68,22)
0027 CALL EXEC(1,CONTROL,SAG,-2)
0028 DECODE(2,'(12)',SAG)ISAG
0029 IF (ISAG.LT.0.OR.ISAG.GT.14)GO TO 10
0030 CALL PRN(ISAG)
0031 END

```

BIBLIOGRAFIA

- 1.- DEMENEGHI A., "Interacción Suelo-Estructura", Rev. Ingeniería, Nueva Epoca, Vol. LIII, No. 4, México, 1983.
- 2.- JUAREZ BADILLO E., KICO A., "Mecánica de Suelos", tomo I y II, ed. Limusa, México, 1976.
- 3.- REYES GONZALES G., "Aplicaciones de la Interacción Suelo-Estructura", tesis profesional, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., México, 1985.
- 4.- KARDESTUNCER H., "Introducción al Análisis Estructural con Matrices", ed. McGRAW-HILL, 1975.
- 5.- ZEEVAERT L., "Interacción Suelo-Estructura de cimentaciones superficiales y profundas, sujetas a cargas estáticas y sísmicas", ed. Limusa, México, 1980.
- 6.- DAMY J., ESTEVA L., GUERRA R., "Métodos incrementales en el análisis de cimentaciones continuas sobre terreno compresible", Instituto de Ingeniería, U.N.A.M., 20 pp.

- 7.- DEMENEGHI A., " Análisis de Cimentaciones", Centro de Educación Continua, México, 1979.
- 8.- LUTHE, OLIVERA, SCHUTZ, "Métodos Numericos", ed. Limusa, México, 1980.
- 9.- DESCHANPS R., GUZMAN I., VARGAS J., "Apuntes de Computadoras y Programación", Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., 1981, 75 pp.
- 10.- MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES - GEOTECNIA- B.2.4.- "Cimentaciones en suelos", Comisión Federal de Electricidad, México, 1981.